N° d'ordre 136

THÈSES

PRÉSENTÉES

à L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX 1

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR - INGÉNIEUR

PAR

Apar Singh BINDRA

1ère THÈSE

Contribution à l'étude de la chlorose ferrique chez *Prunus persica, Prunus amygdalus* et leurs hybrides. Mode d'utilisation du fer.

2ème THÈSE

Alar, un retardateur de croissance pour les arbres fruitiers

Soutenues le 19 Mars 1971 devant la Commission d'Examen

M. le Professeur R. DAVID, Membre Correspondant de l'Institut ... PRÉSIDENT

M. le Professeur A. LUTZ, ... } EXAMINATEURS

M. J. BOUARD, Maître de Conférences ... }

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543508_0011

N° d'ordre 136

THÈSES

PRÉSENTÉES

à L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX 1

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR - INGÉNIEUR

PAR

Apar Singh BINDRA

1ère THÈSE

Contribution à l'étude de la chlorose ferrique chez *Prunus persica, Prunus amygdalus* et leurs hybrides. Mode d'utilisation du fer.

2ème THÈSE

Alar, un retardateur de croissance pour les arbres fruitiers

Soutenues le 19 Mars 1971 devant la Commission d'Examen

M. le Professeur R. DAVID, Membre Correspondant de l'Institut . . PRÉSIDENT

M. le Professeur A. LUTZ, ... } EXAMINATEURS

M. J. BOUARD, Maitre de Conférences . . . . . }

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

FACULTE DES SCIENCES

Doyens honoraires : M. BRUS
M. CALAS

Doyen : M. VALADE

Professeurs honoraires :

M. KASTLER ..... Professeur à la Sorbonne
M. PISOT ..... Professeur à la Sorbonne
Mlle JOSIEN ..... Professeur à la Sorbonne
M. MILLOUX
M. CAU
M. GENEVOIS
M. AVEL
M. SCHOELLER

Professeurs :

M. ROGER ..... Mécanique rationnelle
M. WEILL ..... Anatomie comparée et embryogénie
M. DUFRESNOY ..... Mathématiques générales
M. LAFON ..... Physiologie générale
M. BOUNHIOL ..... Biologie animale
M. SERVANT ..... Physique
M. CALAS ..... Chimie organique
M. GAY ..... Cristallographie et minéralogie
M. PACAULT ..... Chimie Physique
M. DAVID ..... Physiologie végétale
M. BLAIZOT ..... Physiologie de la nutrition
M. COLMEZ ..... Méthodes mathématiques de la physique
M. CAMBAR ..... Biologie animale

M. VIGNEAUX	Géologie
M. PANOUSE	Zoologie
M. ARZELIES	Physique (détaché à la Faculté des Sciences du Maroc)
M. RIBEREAU-GAYON	Œnologie et chimie agricole
M. RISS	Mathématiques
M. HAGET	Zoologie expérimentale
M. CHASTEL	Physique nucléaire
M. HAGENMULLER	Chimie minérale
M. CREAC'H	Biologie animale
M. LOUDETTE	Mécanique physique
M. PATY	Chimie
M. BORDES	Préhistoire
M. SECHET	Botanique
M. BAGANAS	Mathématiques
M. VALENTIN	Radioélectricité
M. EYME	Botanique
M. RUAMPS	Physique électronique
M. FRAINNET	Chimie organique
M. HOARAU	Chimie physique
M. MARCHAND	Chimie
M. LALANDE	Chimie appliquée
M. GOTTIS	Géologie dynamique
M. LEMANCEAU	Chimie
M. CARDO	Psychophysiologie
M. ROCH	Physique
M. BELLON	Chimie (détaché à la Faculté des Sciences du Maroc)
M. CLASTRE	Cristallographie physique
M. JOUSSOT-DUBIEN	Chimie
M. VALADE	Chimie organique
M. SURDIN	Automatique
Mlle LAFFITTE	Physique
M. CLIN	Géologie
M. DESTRIAU	Chimie
M. BOTHOREL	Chimie

M. BLONDEL	Mathématiques
M. LOCHET	Physique
M. LASCOMBE	Chimie
M. RIMPAULT	Physique théorique
M. ANDRE	Zoologie et physiologie animale
M. AUROUZE	Hydrogéologie
M. HAUGAZEAU	Informatique
M. FRESNEL	Calcul infinitésimal
M. MURAOUR	Océanographie
M. SIMONOFF	Radiochimie
M. SOURISSEAU	Chimie
M. VINDT	Biologie végétale
M. REGNIER	Mathématiques
M. PETIT	Physique corpusculaire
M. BARAUD	Chimie biologique
M. EMBERGER	Géologie
M. CHARRU	Physique
M. BARETS	Biologie animale
M. PINEAU	Chimie
M. LEVEQUE	Géologie approfondie
M. BOUSSEAU	Physique
M. MENNRATH	Physique
M. BOUAS-LAURENT	Chimie organique
M. RIBEREAU-GAYON P.	Chimie œnologique
Mlle DUTRIEU	Physiologie animale
M. MOYES	Géologie
M. BERNET	Génétique
M. LUTZ	Botanique
M. MOULINES	Chimie
M. POUCHARD	Chimie minérale
M. DRESS	Mathématiques
M. ARTOLA	Mathématiques
M. MENDES-FRANCE	Mathématiques

Maître de conférence honoraire :

M. DE PUYMALY

Maîtres de conférences :

Mme PETIT	Physique
M. SARDOS	Physique
M. DUMERY	Mécanique
M. LESCA	Mathématiques
M. MARTINET	Mathématiques
M. BOUARD	Biologie végétale
M. MINNAERT	Physique théorique
M. ABGRALL	Physique théorique
M. DE MATHAN suppléé par M. DAMEY	Mathématiques
M. BOISSEAU	Biologie générale
M. NASLAIN	Chimie minérale
M. ONILLON	Chimie minérale
M. HOGBE	Mathématiques
M. KLINGEBIEL	Géologie
M. BOUCHET	Informatique
M. GEORGES	Physique du solide
M. JOLY	Informatique

Conseiller Administratif :

M. LLORENS

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA CHLOROSE FERRIQUE

CHEZ PRUNUS PERSICA, PRUNUS AMYGDALUS ET LEURS HYBRIDES.

MODE D'UTILISATION DU FER

INTRODUCTION

Dans son sens le plus large, le terme "chlorose" désigne une maladie physiologique des plantes, au cours de laquelle elles deviennent jaunes . Ce jaunissement provient d'un arrêt de la synthèse de la chlorophylle et de sa destruction . Cette anomalie peut être provoquée par de nombreux facteurs . Toutefois, lorsque le jaunissement disparaît par l'application de fer à la plante dans une forme convenable, la chlorose est appelée chlorose ferrique ou plus précisément "chlorose ferriprivative" .

La chlorose ferrique n'est pas une question d'absence de fer dans le sol . En fait, la plupart des sols ne sont pas carencés en fer . Le fer du sol par contre peut être rendu inutilisable par la plante pour diverses raisons, celle qui est la plus fréquente est la présence de calcaire . Ce phénomène a donné naissance à l'expression impropre de "chlorose calcaire" .

Plusieurs autres facteurs peuvent être responsables d'une carence en fer . Le plus important d'entre eux est l'équilibre entre les macro et les micro-éléments servant à la nutrition de la plante. Ainsi, en Floride, elle a été attribuée à des pulvérisations excessives de sels de cuivre .

La chlorose ferrique se manifeste sur les jeunes feuilles et sur les nouvelles pousses . Les feuilles commencent à perdre leur chlorophylle entre les nervures qui deviennent jaunes . Dans des cas sévères, la nervure centrale peut jaunir, les feuilles présentent des portions brunes de tissus morts . Les plantes affectées d'une telle chlorose présentent des nécroses et peuvent mourir plus ou moins rapidement, si du fer ne leur est pas apporté . Bien entendu, les plantes atteintes de chlorose ont des développements réduits .

Un kilogramme de feuilles fraîches contient en moyenne deux grammes de chlorophylle A et 0, 75 grammes de chlorophylle B . Ces deux chlorophylles ont une composition très voisine et les mêmes propriétés chimiques . Ainsi, la chlorophylle B est une 3- formyl chlorophylle A . Un équilibre semble être établi entre la chlorophylle A et la chlorophylle B . Dans l'état normal vert des plantes, le passage de l'une à l'autre ne paraît pas offrir de difficulté . Mais dans les conditions de la chlorose ferrique, cet équilibre ne se maintient plus et la teneur en chlorophylle A s'accroît par rapport à celle de la chlorophylle B.

Le rôle du fer dans la synthèse de la chlorophylle n'est pas bien connu . Pourtant on sait depuis longtemps que le fer est nécessaire dans cette synthèse, bien que les molécules de chlorophylle n'en contiennent pas .

Le fer jouerait un rôle dans la réalisation des quatre noyaux pyroliques constituant la base de la molécule de chlorophylle . Il se déplace ensuite des noyaux récemment formés, cédant sa place au Mg.

La chlorose ferrique est une maladie physiologique très répandue qui affecte aussi bien les espèces annuelles que perennes car 25 à 30% de la surface cultivée du globe contient du calcaire à des concentrations qui peuvent entraîner la chlorose .

Sur de larges superficies, la chlorose ferrique est devenue un problème important parfois aggravé par des interventions maladroites de l'homme .

En dehors de la chlorose ferrique, de tels sols sont souvent très riches et leurs intéressantes caractéristiques physico-chimiques sont telles qu'il est souvent préférable d'y pratiquer des cultures plutôt que sur des sols acides . Ainsi, bien que la chlorose ferrique puisse rendre les sols impropres à certaines cultures, elle n'affecte pas trop la valeur de ces sols , tant que l'activité agricole est limitée à des plantes résistant à la chlorose .

Le nombre des espèces sujettes à la chlorose est toutefois très important . Parmi les arbres fruitiers, il faut mentionner le pêcher, l'abricotier, le prunier, les agrumes, la vigne, etc ... Toutes les variétés de ces espèces ne sont pas d'égale sensibilité . Le pêcher qui est une espèce dont la culture est importante en France, est très sensible à la chlorose ferrique .

Quelques études de cette maladie ont été entreprises chez le pêcher . En particulier une solution à ce problème a été recherchée par la sélection de porte-greffes résistants (amandier, Prunus davidianna, et surtout hybride pêcher x amandier) .

Nous nous sommes proposé , dans ce travail, d'étudier le problème de l'utilisation du fer chez quelques porte-greffes du pêcher, dans le but de mettre au point une méthode rapide d'estimation de la sensibilité des différents porte-greffes et enfin d'apporter une contribution à l'étude des relations porte-greffe-greffon, en ce qui concerne la chlorose .

Avant d'exposer nos travaux, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à Monsieur le Professeur R. DAVID, membre correspondant de l'Académie des Sciences de l'Institut de France , pour la bienveillance qu'il nous a manifestée par ses précieux conseils et encouragements au cours de nos travaux .

Nous le remercions particulièrement pour avoir bien voulu accepter la présidence du jury de cette thèse .

Notre reconnaissance va aussi à Messieurs les Professeurs Albert LUTZ, et Jacques BOUARD , lauréats de l'Institut, qui nous ont prodigué leur enseignement et qui ont bien voulu accepter de faire partie du jury .

Je tiens à manifester ma profonde gratitude à Monsieur René BERNHARD, Directeur de la Station de Recherches d'Arboriculture Fruitière I. N. R. A. Centre de Bordeaux, pour m'avoir accepté dans sa station et pour avoir bien voulu guider et diriger les études présentées dans ce mémoire .

Je tiens également à lui exprimer toute ma reconnaissance pour m'avoir donné toutes les facilités de travail, les encouragements, les conseils et l'aide précieuse qu'il a su m'apporter dans tous les domaines .

Je tiens aussi à le remercier pour tout le temps qu'il m'a consacré et l'attention personnelle qu'il m'a donnée, malgré toutes les préoccupations de ses fonctions .

Nos sentiments de reconnaissance également pour le laboratoire du Pêcher, animé par Monsieur René MONET, qui m'a donné toutes les possibilités de travail, dans une atmosphère amicale et sympathique ; il nous est très agréable de le remercier , ainsi que Messieurs Charles GRASSELY, Jean COURANJOU et Yves BASTARD , de la Station d'Arboriculture Fruitière, pour l'aide qu'ils m'ont apportée et les encouragements qu'ils m'ont manifestés durant toute la durée de ces travaux . Nous les remercions vivement pour leurs précieux conseils dans la préparation de ce mémoire .

Nous tenons à remercier particulièrement Monsieur JUSTE, Mademoiselle BRUZEAU, Monsieur LEROUX et Monsieur COURPRON, pour l'assistance et les possibilités qu'il nous ont données pour permettre la réalisation de ces travaux .

Nos vifs remerciements vont aussi au personnel de la serre et à tout le personnel de la Station d'Arboriculture Fruitière qui ont montré une parfaite compréhension et qui nous ont aidé directement ou indirectement à réaliser ce travail .

HISTORIQUE

Depuis les premières descriptions de la chlorose ferrique (1843), de nombreux chercheurs ont étudié cette carence sur de nombreuses plantes . Nous passerons en revue les travaux se rapportant à l'importance du fer dans la nutrition des plantes, le mécanisme de l'absorption, l'utilisation du fer et les différents facteurs provoquant la chlorose ferrique .

A - PREMIERS TRAVAUX

En 1843, GRIS montra que les plantes qui sont privées d'un apport adéquat de fer ne produisent pas de chlorophylle et deviennent chlorotiques . Il observe des relations entre la teneur en chlorophylle et la teneur en cet élément disponible, elle-même réglée par la quantité de calcaire des sols .

Les observations de GRIS ont été confirmées et généralisées. Ainsi en 1858, MATHIEU signale cette maladie chez quelques espèces forestières . En 1860, SACHS démontre que le fer est indispensable à la croissance des plantes supérieures . Mais le problème a pris une importance de premier ordre vers 1880, quand les Vitis provenant d'Amérique (Riparia, Rupestris, Labruska, Cestvalis, etc...) ont été utilisés dans la lutte contre le phylloxera . Ces porte-greffes ont manifesté une sensibilité très grave à un excès de calcaire . La présence du fer est indispensable dans toutes les parties de la plante où se fait la synthèse des chlorophylles essentiellement dans les zones d'organogenèse foliaire .

B - IMPORTANCE DE L'ABSENCE OU DE L'INSUFFISANCE DU FER DANS LES SOLS POUR LA NUTRITION DE LA PLANTE .

Quand on parle de carence en fer, on a l'impression que la teneur en fer du sol est insuffisante, ce qui est rare . Dans la composition de la croûte terrestre, le fer existe en abondance (4, 7% de l'écorce terrestre) .

La plus grande partie du fer du sol se trouve sous forme d'oxydes ferriques et de composés inorganiques . Dans les sols bien aérés, la solubilité du fer inorganique est pratiquement nulle . L'hydroxyde ferrique $Fe(OH)_3$ est soluble dans l'eau dans la limite de trois parties par billions à pH4 et encore moins aux pH plus élevés . Dans les formes ferreuses, la solubilité est plus élevée que dans les formes ferriques (BETREMIEUX, 1951), mais en solutions aqueuses, elles sont rapidement oxydées en fer ferrique . C'est seulement sous forme de complexes organiques qu'on peut extraire de très petites quantités de fer à partir de sols neutres et alcalins .

Dans ces conditions, le problème est de mettre en contact intime le fer inorganique et les racines . Si le contact est suffisamment bon, les racines sont capables de satisfaire leurs besoins de fer . EATON (1936), CHAPMAN (1939), HAWARD et WADLEIGH (1946) et WYND (1951) ont montré qu'il était possible de faire absorber des quantités adéquates de fer aux Pêchers, Citrus et autres espèces, par contact intime des radicelles avec de la magnétite broyée et mélangée au substrat (0, 1 p. 100) .

L'aultre alternative est de fournir le fer dans des formes qui restent longtemps hydrosolubles dans toute la gamme des pH, par exemple les chélates de fer, où le fer est naturellement à l'état de complexe avec la matière organique .

C - LE MECANISME DE L'ABSORPTION DU FER DANS LES PLANTES .

1°- Rôle des racines .

La racine a un rôle actif dans l'absorption du fer . Ce rôle, resté longtemps obscur, commence à s'éclaircir .

BROWN (1961) a mis en évidence que des variétés de Soja qui résistent à la chlorose, émettent des substances qui dissolvent les composés du fer dans le sol, le rendant ainsi utilisable par la plante .

JUSTE et POUGET (1967) ont observé que des exsudats radiculaires de la vigne forment des complexes avec le fer, ainsi le fer reste plus longtemps soluble, même à un pH supérieur à 7 .

Toutefois, l'absorption du fer réalisée grâce à cette excrétion radiculaire, ne serait pas aussi importante que celle obtenue par les surfaces radiculaires se comportant elles-mêmes comme agent de fixation du fer .

La différence du comportement des plantes vis-à-vis de la chlorose s'expliquerait par leur capacité différentielle de fixation du fer . Ainsi, WALLACE en 1962 conclut que le pouvoir de fixation du fer est le facteur central de l'induction de la chlorose ferrique, chez les plantes sensibles à cette maladie .

2°- Influence de l'espèce dans l'utilisation du fer .

De larges différences dans la sensibilité de la chlorose ont été observées dans le règne végétal . On peut faire une classification arbitraire entre plantes calcifuges et plantes calcicoles . Divers auteurs (BROWN , 1953, 1956, KESSLER, 1958, THORNE, 1955) ont fait apparaître des différences fondamentales entre ces deux groupes en ce qui concerne les systèmes enzymatiques intervenant dans l'absorption du fer et la capacité de saturation des racines par le calcium (BROWN et HOLMES, 1955); SMALL (1946) dans une revue bibliographique, suggère que les plantes acidophiles semblent posséder un système tampon oxalate-malate prédominant . Ces plantes seraient endommagées par une alcalinisation du milieu externe radiculaire . Cet auteur pense qu'il s'agit du caractère essentiel des plantes calcifuges discuté par ILJIN (1951, 1952) . Par opposition, les espèces ayant un système tampon citrate-phosphate prédominant sont, pense-t-il, adaptées aux conditions d'un pH élevé, alors qu'un système équilibré citrate-malate-phosphate, conduit à une large zone d'adaptabilité .

3°- Rôle du porte-greffe .

La possibilité d'utiliser des porte-greffes appropriés qui peuvent réduire ou éliminer la maladie, a été particulièrement explorée . Un bon exemple de cette possibilité a été donné par BROWN (1950) expérimentant avec le Soja ; les variétés P.I. et H.A. ne chlorosent pas lorsqu'elles sont greffées sur les racines de H.A., mais les variétés P.I. et H.A. manifestent une chlorose sur des porte-greffes P.I.

De la même manière, FATTA (1967) signale une chlorose ferrique sévère sur le pêcher greffé sur franc alors qu'elle n'existe pas lorsque le pêcher est greffé sur amandier et sur quelques hybrides de pêcher .

Un autre exemple intéressant de comportement est celui de la variété de poire Le Comte lorsqu'elle est greffée sur Cognassier et sur P. Calleryana, cette variété résiste à la chlorose sur ce dernier porte-greffe .

La vigne est bien connue pour son comportement variable selon qu'elle est greffée sur des porte-greffes vinifera ou sur des porte-greffes d'origine américaine . La Vitis vinifera entraînant une sévère chlorose .

Des travaux de POUGET ont déjà donné des résultats prometteurs sur la sélection des porte-greffes de vigne qui peuvent apporter la tolérance vis-à-vis de la chlorose . BADRIAS (1960) a réalisé une revue bibliographique sur ce sujet très vaste . Nous ne faisons que l'effleurer ici .

Toutefois chez certaines espèces, la chlorose apparaît quel que soit le porte-greffe sur lequel elles sont greffées . Par exemple , la variété Santa-Anna de Macadamia, chlorose beaucoup lorsqu'elle est greffée sur le porte-greffe Folkner qui, pourtant, ne chlorose pas utilisé seul, en bouture ou greffé sur ses propres racines .

CROSSA RAYNAUD (1965) signale que chez quelques pêchers, la résistance à la chlorose est une affaire de combinaison porte-greffe-greffon .

Les porte-greffes connus comme résistants à la chlorose en Tunisie n'évitent pas la maladie pour toutes les variétés . Les souches de Pêcher, telles de Midelt, Yunan, Missour, Bargou etc ... qui poussent dans les régions calcaires, ne semblent pas se montrer meilleures que les semis ordinaires . On constate aussi d'après lui, en Charente, des pêchers sur leurs racines qui ne chlorosent pas, cependant, si on les greffe, la chlorose apparaît sur le greffon .

En revoyant l'importante littérature sur ce sujet et les observations quotidiennes sur la résistance à la chlorose induite par le calcaire, il semble que les assertions de M. CROSSA RAYNAUD, soient trop pessimistes . BERNHARD rapporte que plusieurs porte-greffes de Pêcher et quelques pêchers-amandiers apportent une certaine résistance à la chlorose .

D - UTILISATION DU FER .

1°- Relation entre la nutrition en fer et la chlorose ferrique .

De nombreux travaux n'ont pu établir de relation entre la teneur en fer des feuilles et le degré de chlorose (BUSLOVA, 1946; OSERKOWSKY, 1933, THYMAN, 1959) . Dans certains cas, cela peut être dû à des défauts dans le traitement de l'échantillon (JACOBSON, 1945, SMITH , REUTHER et SPECHT, 1950, TAYLOR, 1956) . Dans une mise au point, LEEPER (1952) déclare, en conclusion, qu'il y a autant, sinon plus, de fer dans les feuilles chlorosées que dans les feuilles vertes .

Nous voulons attirer l'attention sur la différence qu'il y a entre la teneur en fer des feuilles et la nutrition en fer de la plante . Pour la synthèse de la chlorophylle, le fer doit être présent dans les feuilles, sous la forme utile, au moment opportun . La teneur globale en fer d'une feuille peut continuer à augmenter sans qu'il en soit de même pour la chlorophylle (JACOBSON et OERTLI, 1956) . La teneur en fer des feuilles d'un grand nombre d'espèces, y compris le pêcher, augmente avec l'âge de ces feuilles, tandis que la teneur en chlorophylle reste constante (GONZALEZ-STEILIA et DOENMOSSE, 1963) .Pourtant , il y a une relation entre la chlorose ferrique et la teneur en fer des feuilles lorsque la nutrition en fer est insuffisante . Cette relation peut durer parfois pendant toute la vie de la feuille . C'est à ce phénomène que sont dues les observations de WALLIHAN (1955), AGARWALA et SHARMA (1961) et d'autres auteurs (GOUNY et MAZOYER, 1951, ILJLN, 1951, 1952, GILE et CARRERO, 1920) . En montrant des symptômes dûs à la chlorose calcaire, ces chercheurs mirent en évidence une relation positive entre la teneur en chlorophylle et la teneur en fer .

La remarque de KOYKENDALL (1956) déclarant qu'il est trop simpliste d'établir un diagnostic de déficience en fer au seul vu des résultats de l'analyse des feuilles, semble d'un grand poids .

2°- Transport du fer .

Le transport du fer est aussi compliqué et imprévisible que son absorption . S'il y a assez de fer pour subvenir aux besoins de la plante, le fer monte dans la tige au fur et à mesure de la croissance.

Au contraire, si l'apport de fer est soudainement arrêté, la mobilité du fer dans la plante cesse (BROWN et HOLMES, 1955) .

De nombreux travaux ont mis en évidence qu'une grande partie du fer absorbé reste dans les racines (IVANOV et ORGIYAN, 1961, KHADAR et WALLACE, 1964) . Le mécanisme du transport du fer des racines aux feuilles n'est pas connu . De nombreux facteurs interviennent . Une pulvérisation d'anti-auxine, l'acide tri-iodo-benzoïque (TIBA) ou de régulateurs de croissance, l'acide naphtyl-acétique (ANA) sur la plante activent ce transport (KESSLER et MOSCIKI, 1958, JIMENEZ, 1965) . Le transport du fer est, en général, supposé très spécifique, et de nombreuses interférences physiologiques et métaboliques s'y manifestent . Avant d'examiner ces différents facteurs, rappelons que le fer peut être absorbé et transporté par voie foliaire.

3°- Mobilité et répartition du fer dans les tissus .

Dans la nutrition en fer, ces facteurs sont aussi importants que l'absorption . Le fer absorbé est moins mobile que beaucoup d'autres substances . La mobilité du fer est plus grande dans les plantes carencées en fer que dans les plantes saines (SEMIN et CIPKO, 1964) .

Il semble qu'il y ait de grandes difficultés à mobiliser le fer dans certaines espèces, telles que la vigne . C'est ainsi qu' EYNAND (1962) rapporte que douze jours après le traitement, le fer n'avait toujours pas émigré de la feuille traitée . JUSTE et POUGET ont observé, chez la vigne, que le fer n'émigre pas au-delà du système radiculaire ; EDDING et BROWN (1967) ont montré que le transport du fer pulvérisé sur les feuilles est très influencé par les conditions atmosphériques et par les substances mouillantes ou autres présentes dans la solution . On peut donc conclure avec BROWN (1961) et CHARPENTIER et MARTIN-PREVEL (1967) que le fer est "raisonnablement" mobile dans la plante .

E - LES FACTEURS CHIMIQUES ET NUTRITIFS PROVOQUANT LA CHLOROSE FERRIQUE .

1°- Rôle du calcaire .

Le mode d'action du facteur principal responsable de la chlorose ferrique, le calcaire, reste encore plus ou moins obscur .

Il est peu probable que ce soit $CaCO_3$ seul qui soit responsable de la mauvaise nutrition en fer des plantes . On a, en effet, observé que des sols non calcaires, auxquels on ajoute du carbonate de

calcium, ne deviennent pas, de ce fait, chlorosants (WALLACE et LUNT , 1960) . Le comportement des plantes varie beaucoup selon la nature du carbonate de calcium fourni (OLSON et WATANABE , 1958) .

2°- Ions bicarbonates .

Les ions bicarbonates inhiberaient de façon appréciable la croissance des racines de plantes sensibles à la chlorose ferrique, alors que l'effet sur des plantes résistantes est moindre . Cet aspect de la relation entre la toxicité des bicarbonates et la chlorose ferrique demanderait de nouvelles recherches .

L'accumulation de bicarbonate élèverait le pH des tissus et de ce fait inactiverait le fer . Ainsi, l'accumulation du fer est réduite au niveau des tiges alors qu'elle est augmentée au niveau des racines .

Les ions bicarbonates inhibent de façon appréciable l'absorption du fer par les tissus des plantes, cet effet serait indirect soit par élévation du pH, soit par libération d'un excès de phosphore (GREENWALD , 1945), OLSEN WATANABE et COLE (1960) .

L'intensité respiratoire d'extrémités radiculaires de plantes sensibles à la chlorose ferrique est réduite en présence d'ions bicarbonates alors qu'elle n'est pas modifiée pour des plantes résistantes.

Les ions bicarbonates affecteraient l'action de la "cytochrome oxydase " dont l'activité serait réduite . Les ions bicarbonates pourraient de ce fait avoir un effet indirect sur l'absorption du fer par l'intermédiaire de la chaîne respiratoire .

3°- Rôle du pH .

Le pH mesure l'état de concentration des ions OH^- . Sous sa forme ferrique, la solubilité du fer est mille fois moins grande pour un accroissement d'une unité de pH . Cet exemple montre la tendance générale du fer à précipiter et son indisponibilité vis-à-vis de la plante dès que le pH augmente .

Si l'on accroît le pH de la solution nutritive, la teneur en fer "total" augmente alors que le fer soluble diminue . Dans la plante, le fer précipite dans les tissus ayant un pH relativement élevé (5, 6 - 6, 2) .

Dans des conditions définies d'un type particulier du sol, il n'est pas impossible de donner un pH approximatif pour lequel une culture peut réussir .

Ainsi LIWERANT (1960) , pour des sols n'ayant pas plus de 5 p 100 de calcaire actif (méthode de DROUINEAU , 1942), donne comme valeur limite d'apparition de la chlorose respectivement : pH = 7, 7, 7, 9 , 7, 0 pour les cultures suivantes : pêcher greffé sur pêcher, pêcher sur prunier et poirier sur cognassier . Ces données acquises dans la vallée de la Garonne ne doivent être utilisées qu'avec prudence dans d'autres conditions de milieu .

L'un des rôles des ions bicarbonates des sols calcaires serait d'accroître le pH de la solution et de libérer un excès de phosphore, ce qui aggraverait l'insolubilisation du fer .

4°- Ion Calcium .

Certains auteurs attribuent la chlorose ferrique à l'action de l'ion calcium (BROWN, HOLMES et TIFFIN, 1959 ; BROWN et coll., 1959) . Selon OLSEN (1936), TAPER et LEACH (1957),l'augmentation de la teneur en calcium de la solution nutritive contenant le fer, entraîne une diminution de l'absorption du fer . Selon THORNE (1955) le calcium ne réduit pas seulement l'absorption du fer, mais aussi sa mobilité dans la plante .

Néanmoins, les travaux du Professeur BROWN et de ses élèves n'ont pu mettre en évidence une action directe du calcium sur la chlorose ferrique, WALLACE et LUNT (1960) en viennent à conclure qu'il y a encore fort à faire pour déterminer l'influence éventuelle de l'ion calcium sur la chlorose .

Il est plus probable que l'action du calcium est indirecte , qu'il interfère dans l'absorption ou le métabolisme du phosphore (BROWN, HOLMES et TIFFLIN, 1959; BROWN et coll., 1959) .

5°- Phosphore .

On soupçonna très vite le phosphore de contribuer selon sa concentration, au déclenchement de la chlorose ferrique (THORNE, WANN et ROBINSON, 1950) . Il y a maintenant peu de doute quant à l'importance d'une forte concentration en phosphore sur le déterminisme de cette maladie, dans certains sols au moins (BROWN, 1961) . Il est sans doute heureux que la teneur naturelle des sols en phosphore soit également assez réduite, la chlorose serait, sinon, un accident physiologique beaucoup plus fréquent . Il y a un antagonisme entre le fer et le phosphore . Si l'on fournit au milieu de culture du fer en grande quantité, sous forme de chélate, on détermine la précipitation du phosphore dans les tissus . BIDULPH (1951) et BIDULPH et WOODBRIDGE (1952) mettent en évidence le rôle du phosphore sur l'absorption et sur le transport du fer dans la plante .

La divergence fréquente entre la valeur du calcaire actif (DROUINEAU, 1942) et le pouvoir chlorosant des sols est peut-être due au rôle du phosphore .

Aussi, le phosphore joue un rôle important dans la précipitation du carbonate de calcium . Une faible teneur en phosphore conduit à une précipitation du carbonate de calcium . L'addition de seulement 1 p.p.m. de phosphore (méta, pyro ou orthophosphate) dans la solution du sol, diminue considérablement la précipitation du carbonate de calcium (BROWN et coll., 1959, REITEMEIR, 1938) .

6°- Potassium .

On a porté une grande attention à l'éventuel pouvoir chlorosant du potassium . Les premiers travaux (LINDNER et HARLEY , 1944; GILE et CARRERO, 1920) attachent une grande importance au rapport potassium-calcium et à son rôle déterminant de la chlorose ferrique . Ce rapport a la même importance dans les solutions nutritives que dans les sols (MILLER et THORNE, 1956; WADLEIGH et BROWN, 1952) . Pour MARRO (1967), le potassium est un facteur aussi important que le calcium dans le déclenchement de la chlorose, parce que la plus grande partie du calcium du sol est sous forme insoluble et, de ce fait, inactif . Cette observation peut avoir une valeur pour certains types de sols, mais sa généralisation serait certainement erronée . WUTSCHER et CAIN (1966) ont mis en évidence une étroite relation entre le fer, le potassium et l'azote, on peut observer une grande accumulation de fer et une faible croissance de la plante, si la teneur en potassium est élevée, mais faible en azote . D'après WUTSCHER (1968) , sur le pommier, une haute teneur en potassium ne détermine pas de chlorose tant que l'azote est abondant ; il faudra encore bien des observations pour éclaircir le rôle du potassium dans le métabolisme du fer et la synthèse de la chlorophylle .

7°- Azote .

Quand l'azote est présent sous certaines formes, il peut jouer un rôle dans la chlorose ferrique . Les plantes acidophiles cultivées en sols acides peuvent chloroser si on leur fournit l'azote sous forme de nitrate (CAIN, 1952; CAIN, 1954; CAIN et HOLLEY, 1955) . Les nitrates ont induit les chloroses importantes en Californie du Sud . (NORTH et WALLACE, 1959) . D'après TOWNSEND (1967), il s'accumule plus de fer dans les feuilles en nutrition nitrique qu'en nutrition ammoniacale . OERTLI et JACOBSON (1960) ont montré que la chlorose ferrique diminue l'absorption de l'azote nitrique . Est-ce un effet ou une cause ? Est-ce la mauvaise utilisation des nitrates qui déclenche la chlorose ? Ou est-ce la chlorose qui entraîne un mauvais métabolisme des nitrates ? La réponse à ces questions demande encore beaucoup de travaux .

Précisons que la nutrition nitrique ne perturbe pas le métabolisme du fer de toutes les plantes . Avec certaines solutions nutritives, les plantes ayant reçu de l'azote ammoniacal montrent une grave chlorose, tandis que celles qui ont reçu des nitrates se portent beaucoup mieux .

8°- Microéléments .

Des excès de Cu (REUTHER et SMITH, 1953, 1952; SMITH et SPECHT, 1953), Mn (BROWN et HOLMES, 1955) , Ni (HUNTER, 1954), Zn et Mo peuvent aisément induire la chlorose ferrique. Dans certains sols, comme dans les tourbières acides, de grandes quantités de Zn peuvent provoquer des chloroses ferriques .

a) Cu : En France, comme dans plusieurs autres pays, on a trouvé la chlorose ferrique très répandue dans les régions où se présente le problème de l'excès de Cu dans le sol . Ce problème très grave de la chlorose ferrique dans les vergers d'agrumes et les cultures maraîchères en Floride, est nettement lié à une trop haute teneur en Cu des sols à la suite de son application sous forme de fungicide, etc ... (WALLACE et LUNT, 1960) . Ainsi, dans plusieurs types de sols, il peut y avoir plus de 800 kilogrammes de Cu sur un hectare de sol (BROWN, 1960) .

Le problème de la chlorose ferrique induite par le Cu est surtout grave dans les sols où il y a aussi un excès de Mn . Ces deux éléments ensemble sont plus actifs que l'excès proportionnel d'un de ces éléments seulement (BROWN et HOLMES, 1956) . Pourtant, les autres éléments, comme le phosphore qui induit une chlorose ferrique,ne semblent pas augmenter la chlorose ferrique induite par le Cu (FISKELL, DIAMOND et BRAMS, 1967) .

b) Manganèse : Il a été démontré que le manganèse interfère avec l'absorption et le transport du fer . Des toxicités sévères par le Manganèse chez Citrus paradisii (Pamplemousse) ont été corrigées sur une grande échelle par des pulvérisations de sulfate ferreux .

La différence entre une chlorose induite par le calcaire et une chlorose induite par le Mn réside dans le fait que cette dernière se produit généralement en sols acides alors que la précédente se fait en milieu alcalin .

c) Molybdène : Les plantes sont très sensibles au molybdène, des quantités légèrement supérieures à la normale de cet élément peuvent aisément induire une chlorose ferrique (WALLACE et LUNT , 1960) . Il y aurait formation au niveau des racines d'un complexe insoluble Molybdène-Fer. Pour montrer la relation constante entre le fer et le Molybdène, on a montré que le fer peut accentuer la carence en Molybdène .

KIRSCH (1960) pense que le Molybdène peut avoir un effet inhibiteur sur l'absorption du fer quand celui-ci est à basse concentration et un effet stimulant dans le cas contraire .

Le Molybdène étant plus soluble dans les sols alcalins, il serait nécessaire d'évaluer le rôle que le Molybdène peut avoir sur l'induction de la chlorose dans ces sols .

d) Zinc : L'induction ou l'aggravation de la chlorose ferrique par un excès de Zinc a été fréquemment signalée (MILLIKHAN, 1947) . BEYERS et PRINS (1964) relatent l'apparition d'une carence en Zn et Mn à la suite d'une application de Fe-EDDHA suggérant ainsi qu'il y a une compétition entre le fer et le Zn pour l'absorption et le transport au niveau des racines .

Dans les sols acides, où le Zn est plus vraisemblablement sous forme soluble, il peut créer de sérieux problèmes .

e) Autres microéléments : La chlorose ferrique peut être associée à d'excessives quantités de Nickel et de Cobalt. PRIMO (1959) a montré que l'absorption du fer est moindre en présence d'un excès de bore .

De manière générale, un équilibre défectueux des concentrations en microéléments serait en relation avec la chlorose induite en présence de Calcium (Mc GEROGES, 1954) . La chlorose peut être corrigée sans accroître nécessairement la teneur en fer dans la plante, en appliquant seulement des sels acides d'un agent chelatant, au sol calcaire . Dans ce cas, la correction est due à une baisse de la teneur en manganèse et en cuivre, bien qu'ils ne soient pas initialement à des niveaux toxiques .

Dans les solutions nutritives qui ont de très faibles doses de manganèse, cuivre, zinc, etc... il est très difficile d'obtenir des chloroses ferriques (HEWITT, 1966) .

F - AUTRES FACTEURS INTERVENANT DANS LA CHLOROSE FERRIQUE .

De nombreux autres facteurs peuvent déterminer la chlorose . Nous limiterons notre étude à ceux qui ont une importance pratique .

1°- Viroses .

De nombreux chercheurs ont observé que les viroses peuvent déterminer sur les plantes des symptômes qui peuvent disparaître par apport de fer (NORTH et coll., 1959; OLNEY, 1956 ; ANON, 1959; COOPER et PEYNADO, 1954) . Ces symptômes peuvent être semblables à ceux de la chlorose ferrique, ou se réduire seulement à une diminution de la teneur en chlorophylle des tissus . Le fer entre dans la constitution d'un virus au moins celui de la mosaïque du tabac (LORING et WARITZ, 1957) . On peut supposer qu'il y a concurrence entre la plante et le virus pour le fer et sans doute aussi pour d'autres éléments nutritifs . Si la teneur en fer du milieu nutritif est faible, les symptômes sont plus graves que si cette teneur est élevée .

A l'opposé, les virus peuvent détruire les chloroplastes, ce qui libère du fer, qui peut alors être utilisé pour la croissance et la formation de nouveaux tissus, c'est ainsi qu'une infection virale peut donner à certaines plantes un aspect plus vigoureux , tandis que pour d'autres plantes, ou avec d'autres virus, les symptômes de chlorose s'accentuent . CEROLA, LALATTA et CERVATO(1962), ont mis en évidence des différences cytologiques entre les feuilles de pêcher atteintes de chlorose ferrique et celles chlorosées par suite d'une infection virale .

2°- Lumière .

La lumière augmente le pH de la sève, ce qui entraîne des conséquences sur le métabolisme en général et en particulier sur celui du fer (SMALL, 1946) . Certaines plantes acidophiles se comportent mieux à l'ombre . Lorsque la carence en fer est induite par le calcaire, la diminution de la lumière augmente la teneur en fer soluble, tandis que le rapport entre l'acide ascorbique d'une part et la chlorophylle d'autre part, avec l'activité de la catalase diminue . Les symptômes de chlorose s'atténuent (DIEZ et DEL, 1959) quand on passe d'une faible lumière à un fort éclairement, les mécanismes de synthèse de la chlorophylle fonctionnent dans les tissus chlorosés, mais non les systèmes protecteurs (HERAS, 1960 a) .

3°- Fixation de CO_2 à l'obscurité .

RHOADS et WALLACE, 1960 et WALLACE et coll. 1960, ont observé une augmentation de la fixation de CO_2 à l'obscurité chez les plantes présentant une chlorose ferrique ou génétique , cette fixation de CO_2 détermine sans doute l'augmentation de la teneur en acides organiques et aminoacides, et peut-être, la diminution du rapport Ca/K chez les plantes chlorosées . Des travaux complémentaires sur le rôle de la fixation du CO_2 dans le déterminisme de la chlorose calcaire sont

nécessaires . L'ion bicarbonate, en effet, est absorbé par les racines et déclenche la chlorose ferrique (MAZELIS et VENNESLAND, 1957; RHOADS et WALLACE, 1960 ; RHOADS, WALLACE et ROMNEY, 1956). L'assimilation du bicarbonate et la fixation de CO_2 à l'obscurité, apparaissent comme des facteurs qui ont un rôle analogue .

G - CONCLUSION .

Un apport continu de fer sous une forme assimilable est nécessaire à la croissance des plantes chlorophylliennes . De nombreux facteurs interviennent dans l'absorption, le transport et l'utilisation du fer . Les facteurs de nutrition, de l'environnement, biochimiques, et l'état sanitaire, jouent un rôle important à différentes étapes du métabolisme du fer, déterminant ainsi une carence chimique ou physiologique de cet élément, et par suite la chlorose .

Compte-tenu de la diversité des facteurs intervenant dans l'utilisation du fer, on peut considérer que la solution pratique du problème est "d'apprendre à vivre avec la chlorose" c'est-à-dire d'adapter des techniques agronomiques efficaces .

Parmi ces mesures, la sélection de variétés et de porte-greffes de pêchers plus résistants à la chlorose ferrique , a souvent été envisagée . Cependant elle se réalise avec des méthodes longues et discutables . Nous nous sommes proposé de rechercher des méthodes précises, rapides et systématiques, permettant une sélection précoce .

Dans notre travail, nous avons voulu préciser les conditions de la nutrition ferrique du pêcher, dans ses relations avec la chlorose, en utilisant pour cela du matériel végétal génétiquement pur (lignées de pêcher, clônes d'hybride pêcher-amandier) .

Dans la première partie, nous étudierons chez le pêcher et chez des hybrides pêcher-amandier, et cela de façon comparative, la nutrition en fer à l'aide de cultures hydroponiques et l'incidence de nombreux facteurs interférant avec l'absorption de cet élément .

Dans la seconde partie, nous étudierons l'absorption, la localisation et le déplacement du fer chez les jeunes pêchers, à l'aide de sels de fer radioactifs et essaierons de préciser les relations greffon-porte-greffe en ce qui concerne la sensibilité à la chlorose (absorption et utilisation du fer) .

METHODES D'ETUDE

Nous avons étudié avec des cultures de jeunes arbres réalisées sur gravier de quartz, l'incidence d'une alimentation plus ou moins carencée en fer (solutions nutritives présentant des teneurs variées de fer) .

Dans les différents essais s'étageant sur trois années et réalisés dans les serres de la Station de Recherches Fruitières de la Grande Ferrade (I.N.R.A.) Pont-de-la-Maye , nous avons utilisé diverses lignées de pêchers, mais nous avons pris soin d'utiliser toujours la lignée de pêcher homozygote G.F. 305 , comme type de référence .

Quelques essais parallèles ont été réalisés avec le même matériel végétal dans des sols plus ou moins chlorosants .

Dans ces milieux diversement carencés en fer, nous avons observé le comportement de 7 lignées de pêchers, 7 clônes d'hybrides pêcher x amandier, 2 types d'amandiers, 1 prunier . Nous avons également observé les réactions de diverses combinaisons greffées , de porte-greffe et de greffon de sensibilité différentielle .

Sur une partie de ce matériel végétal, nous avons étudié l'absorption et le déplacement du fer, après application de fer radioactif dans la solution nutritive (autoradiographie et comptage électronique) .

Bacs de culture utilisés .

Les cultures expérimentales ont été réalisées dans différents types de bacs .

Les bacs en ciment étaient enduits à l'intérieur d'une couche de peinture "plastique" (polyuréthane) . Les bacs utilisés pour ces expériences seront désignés comme suit : B 1000, B 250, B 100, B 35 et B 2, la lettre B signifiant bac, et le chiffre associé représentant la capacité de ces bacs en litres . Les B 35 et B 2 étaient

respectivement en matière plastique et en terre cuite, les bacs B 1000, B 500, B 250, et B 100 avaient un réservoir de solution nutritive respectivement de 500, 250 et 50 litres .

Les bacs enterrés ont une profondeur de 0,7 mètre et un double fond séparant le milieu dans lequel la plante pousse du réservoir de solution nutritive qui se trouve immédiatement en dessous (voir figure n° 1) .

Les bacs 500, semblables aux bacs 1000, sont situés au-dessus de la surface du sol, avec un réservoir souterrain placé à côté. Dans beaucoup d'essais, les bacs 500 et les bacs 250 étaient placés en face l'un de l'autre, avec un réservoir de solution, souterrain et commun, placé entre les deux .

Dans une expérience, un bac 100 a été utilisé dans le but d'étudier le comportement de pêchers et d'amandiers alimentés en fer organique et inorganique .

Les bacs en matière plastique, B 35, généralement connus sous le nom de bac Riviéra, furent utilisés pour un certain nombre d'essais (rôle du pH, rôle de concentration du fer, rôle de la nature du greffon sur des racines d'un même type, rôle des microéléments et des macroéléments) .

Choix du bac de culture .

Il dépend de plusieurs facteurs, le bac 1000 convient le mieux lorsque le nombre de traitements, lignées à éprouver, est élevé . Ainsi nous les avons utilisés dans nos expériences sur les associations greffons-porte-greffe . Ces bacs permettent aussi aux plantes de croître pendant un temps plus long, sans que leurs racines n'entrent trop en compétition, ni que leur feuillage se gêne . Enfin, pour ces bacs, la quantité de solution nutritive disponible étant bien plus importante que dans les bacs plus petits, la nutrition est de ce fait plus homogène .

Les bacs 500 offrent les mêmes avantages que les bacs 1000, tant que la durée de l'expérience ne dépasse pas un an . Au-delà, les branches tendent à s'entrecroiser et il faut rabattre les plantes et reprendre les observations sur une nouvelle pousse .

Les bacs 250 sont trop petits pour être utilisés comme bacs de culture indépendants . Ils furent donc couplés aux bacs 500, le même réservoir de solution servant à alimenter les deux . Ces bacs ont donc été utilisés pour augmenter, dans de nombreuses expériences, le nombre des répétitions (une ou deux répétitions effectuées en bacs 250, deux ou quatre répétitions en bac 500) . Les bacs 35 conviennent quand le nombre de traitements indépendant est important . Ainsi, dans l'expérience relative à l'effet du pH et de la concentration en fer de la solution, il y avait seize traitements (16 solutions nutritives différentes) . L'emploi des bacs plus grands que des bacs 35 aurait nécessité un espace considérable, et une très grande quantité de produits chimiques .

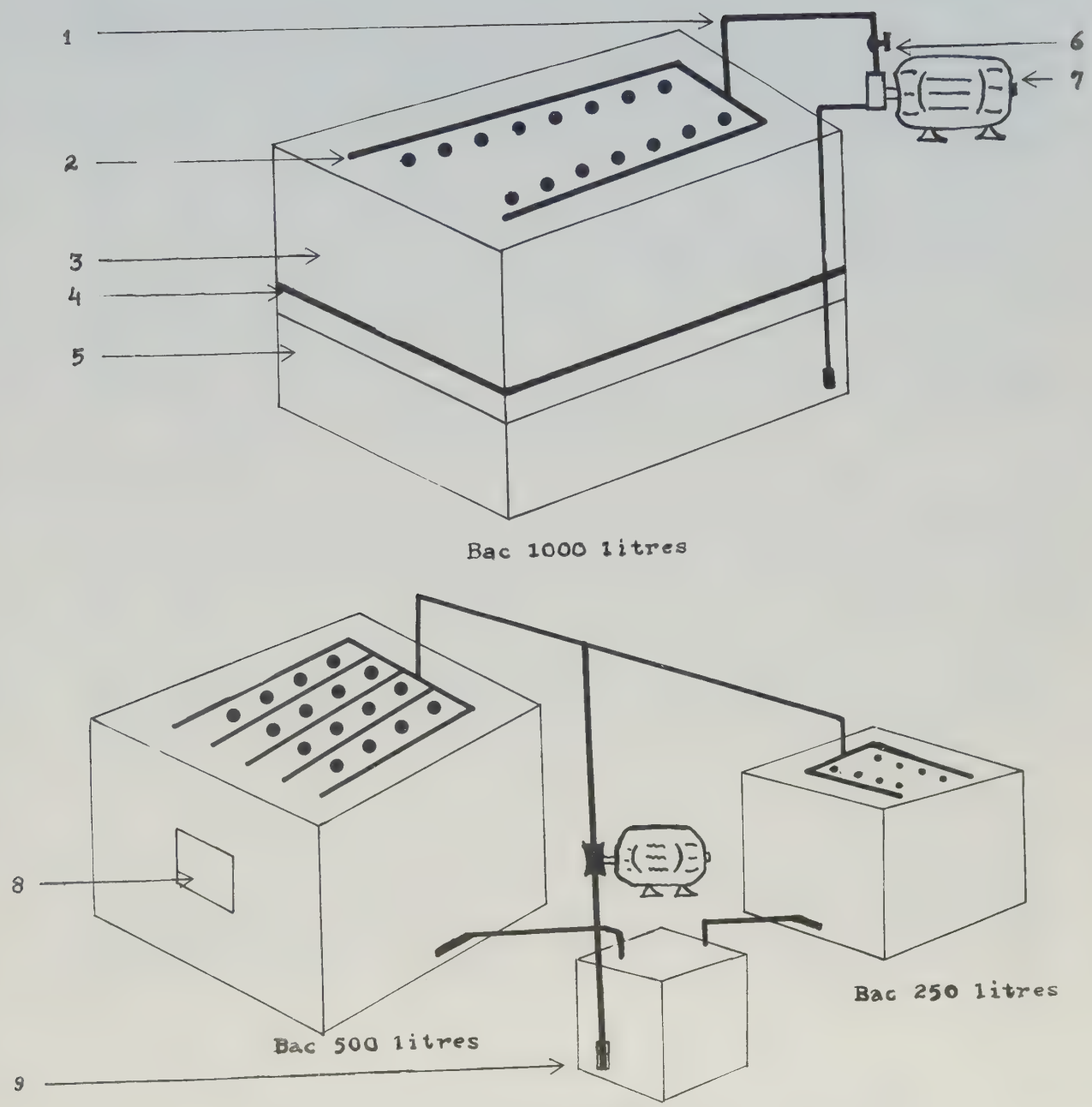


FIGURE 1 : Bacs de 1000, 500 et 250 litres utilisés pour la culture du pêcher sur un milieu artificiel (quartz) avec leurs réservoirs de solution nutritive sousjacent

1. Tuyau d'arrosage
2. Tuyau perforé
3. Quartz.
4. Plancher perforé
5. Solution nutritive
6. Robinet de réglage
7. Moteur
8. Fenêtre d'observation
9. Réservoir

● = Position des plantes dans les bacs

Les bacs 2, très petits, permettent de réaliser de nombreuses répétitions indépendantes dans un espace restreint . Ainsi, dans notre expérience sur l'effet de l'asphyxie dans trois sols différents , le nombre de traitements était de 12 ; comme la croissance des plantes sur sol est beaucoup plus hétérogène que sur sable et solution nutritive, nous avons fait dix répétitions de chaque traitement , soit au total 120 bacs, ce qui aurait été plus difficile avec des bacs plus grands .

Milieu de culture .

Le milieu de culture utilisé est le quartz broyé . Le quartz a été choisi car aucun autre support n'est chimiquement aussi inerte et dépourvu d'interférences avec les solutions nutritives . Le verre pyrex a été utilisé par certains auteurs, mais son emploi pose le problème de son obtention en quantités importantes .

Nous avons utilisé des quartz de deux granulométries différentes : 1 mm et 2 mm . Le quartz à grains fins ne fut utilisé que dans les bacs 35 . L'idée directrice du choix de la granulométrie est que la capillarité puisse fournir assez d'humidité aux racines entre deux arrosages et que la compacité soit suffisante pour que celles-ci assurent un ancrage correct de la plante .

Notons que la taille des grains de quartz et le volume du bac de culture ont une influence sur le comportement des plantes pour une concentration donnée de fer dans la solution nutritive . En effet, plus grand est le bac, ou l'espace dans lequel croissent les plantes , plus grandes est aussi la quantité absolue de fer disponible , bien que la quantité relative de fer dans la solution demeure constante . Le quartz à grains fins a une plus forte capillarité et la quantité de solution qui échappe ainsi au drainage est plus importante que pour le quartz à gros grains . Ceci augmente aussi la quantité absolue de fer mis à la disposition des racines . Ces deux facteurs (grosseur des grains , volume du bac) sont de peu d'importance , si la solution est riche en fer, mais quand la concentration atteint les valeurs limites, ils prennent de l'importance .

Lavage du quartz .

Le pêcher a un besoin de fer tellement important que la présence de trace de fer sur le substrat ne présente pas d'inconvénients majeurs (En effet, des symptômes de carence aiguë apparaissent, même s'il y a des traces de fer sous une forme aussi soluble que le chélate de fer (Fe -EDDHA) .

Par ailleurs, les pêchers et surtout les hybrides pêchers-amandiers, ne supportent pas la transplantation si le milieu de culture

est dépourvu de fer . On voit donc qu'il est inutile de débarrasser à l'origine le quart de toute trace de fer pour en ajouter ensuite quelques p. p. m. sous forme extrêmement soluble pendant la transplantation .

La seule raison qui nous a poussé cependant à laver ce quartz, fût de le débarrasser de la matière organique et surtout des substances toxiques liées à la présence des résidus de racine de pêcher, ceux-ci à très faible concentration peuvent provoquer des réductions importantes de croissance, quand le même quartz est utilisé pour plusieurs expériences successives . Le quartz a donc été lavé à l'eau courante jusqu'à disparition de toute impureté visible . Puis, il a été lavé à l'acide chlorhydrique à 18% (2N) pendant une semaine . Ensuite, il a été lavé à l'acide oxalique à 2%, puis lavé à l'eau courante et enfin rincé à l'eau permutée .

Apport de solution nutritive .

a) Techniques :

L'irrigation dans les bacs 1000, 500, 250 et 100, est faite en utilisant la même solution contenue dans le réservoir du bac . La distribution de la solution est assurée par un tuyau en matière plastique perforé à sa face inférieure (cf. figure 1) . La solution, située dans le réservoir, est refoulée sous pression dans les tuyaux distributeurs . Pour les bacs 35, l'arrosage est fait manuellement, la solution nutritive étant stockée dans des récipients en matière plastique opaques .

b) Durée de l'arrosage .

Celle-ci est de une minute toutes les dix minutes, sauf au début de la culture (les 2 ou 3 premières semaines) où la périodicité est de 1 minute toutes les 5 minutes . Une horloge assure le réglage de cet arrosage . Dans les pots "Riviera" (bac 35), trois arrosages sont faits entre 8 h. et 20 h.

c) Renouvellement des solutions .

Il n'y a pas de problème pour les pots "Riviéra" où l'on travaille en solution perdue . Par contre, dans les bacs 1000, 500 et 250, la composition chimique de la solution nutritive se modifie à chaque instant, puisque la même solution est 'recyclée' .

La technique idéale serait un renouvellement continu à un taux soigneusement calculé . Nous nous sommes contenté de renouveler périodiquement la totalité de la solution nutritive contenue dans les réservoirs . Ce renouvellement se fait à plusieurs semaines d'intervalle (de deux à six semaines). Un intervalle de 15 jours est cependant essentiel :

1- Quand la quantité initiale de fer dans la solution est très faible (par exemple 0,05 p.p.m. de fer, sous forme Fe-EDDHA .

2- Quand la vitesse de croissance des plantes est très importante.

Les variations de la concentration du fer et des différents composants des solutions nutritives dépendent du stade de développement des plantes, du nombre de plantes par bac, de leur vitesse de croissance, eu égard à la quantité totale de solution dans le réservoir et à la concentration initiale du fer dans cette solution . Par exemple, en fournissant à des pêchers de 6 mois, en bacs 500 (ce qui correspond à un réservoir de solution de 250 l), une solution contenant 0,25 p.p.m. de fer sous forme Fe-EDDHA, après trois semaines de culture, la concentration de fer dans cette solution n'était plus que de 0,1 p.p.m.

d) Composition des solutions nutritives .

Les solutions nutritives utilisées sont celles indiquées par HEWITT (1966) pour ses travaux à la Station de Long Ashton. Leurs formules sont indiquées dans les tableaux I et II . Dans la plupart des essais, nous avons utilisé la solution de type A . La solution de type B a été utilisée pour les études comparatives concernant l'incidence sur la chlorose de la forme ammonium ou nitrate apportée .

La solution nutritive utilisée est réalisée par dilution à partir de cinq solutions mères différentes : l'une de $Ca(NO_3)_2$, la deuxième de KNO_3 et NaH_2PO_4 , la troisième de $MgSO_4$ etc . . . La solution mère étant cinq cents fois plus concentrée que la solution fille, les volumes nécessaires pour conserver les solutions mères restent donc dans les limites raisonnables . La quatrième solution contient tous les microéléments ; elle est dix mille fois plus concentrée que la solution fille . La cinquième solution est celle de chélate de fer (concentration cinq mille fois plus forte que la solution fille) .

Toutes les solutions ont été préparées avec de l'eau permutée .

Tableau I :

Composition des éléments nutritifs majeurs des solutions nutritives employées pour les études de la chlorose ferrique chez les pêchers.

	Sel	*Poids/100 l. de solution (grammes)*	*Milliéquivalents/ litre*				*Con. mg. / litre (p. p. m.)*				*Concentration millimolaire*
A. type nitrate	KNO_3	40,4	K^+	4,0	NO_3^-	4	K	156	N	57	4,00
	$Ca(NO_3)_2$	65,6	Ca^{++}	8,0	NO_3^-	8	Ca	160	N	113	4,00
	$MgSO_4 7H_2O$	36,8	Mg^{++}	3,0	SO_4^{--}	3	Mg	36	S	48	1,50
	$NaH_2PO_4 2H_2O$	20,8	Na^+	1,33	PO_4^{---}	4	Na	31	P	41	1,33
	$NaNO_3$ (x)	68,0	Na^+	8	NO_3^-		Na	184	N	114	8
B. type ammonium	$MgSO_4 7H_2O$	36,8	Mg^{++}	3,0	SO_4^{--}	3	Mg	36	S	48	1,50
	$Na_2HPO_4 12H_2O$	47,8	Na^+	2,67	PO_4^{---}	4	Na	62	P	41	1,33
	K_2SO_4	34,8	K^+	4,0	SO_4^{--}	4	K	156	S	64	2,00
	$CaCl_2$	44,4	Ca^{++}	8	Cl^-	8	Ca	160	Cl	284	4,00
	$(NH_4)_2SO_4$	52,8	NH_4^+	8	SO_4	8	N	113	S	128	4,00
	(x) *Employé au lieu de $(NH_4)_2SO_4$ pour les études comparatives avec nitrates et ammonium. Il remplace $(NH_4)_2SO_4$ dans la partie B. du tableau 1.*										

Nota 1 : La concentration en mg/l. divisée par le poids moléculaire et multipliée par la valence donne la concentration en milliéquivalents par litre et la concentration en mg. équi/l. divisée par la valence d'un ion donne la concentration en milli-molaire (mM).

Nota 2 : La forme actuelle de dissociation d'ion phosphate dépend du pH de la solution.

Tableau II :

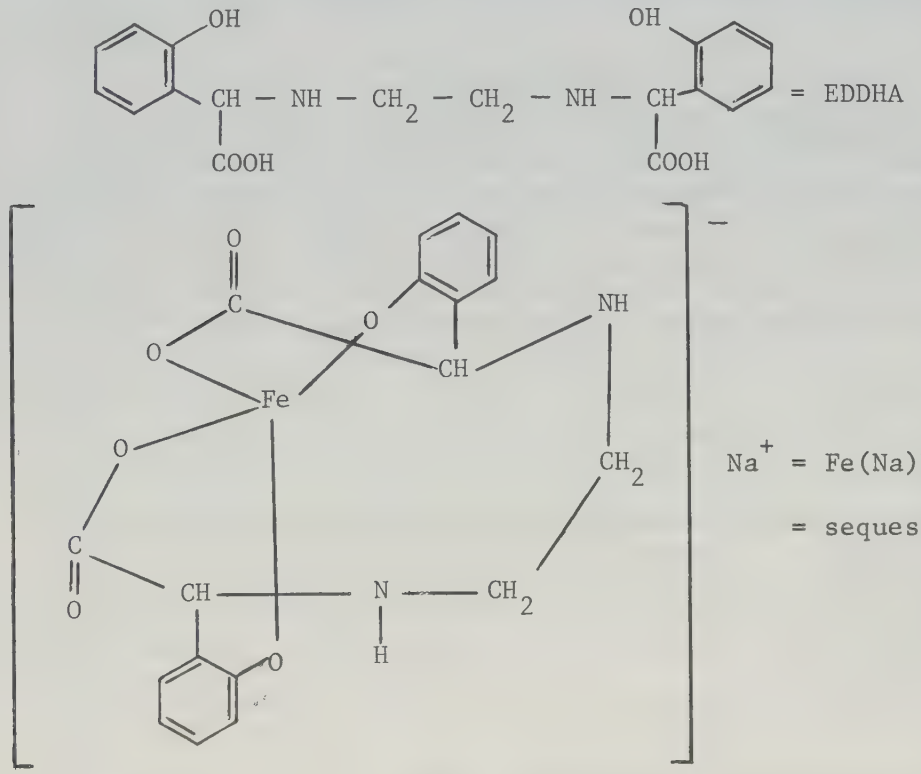
Composition des solutions nutritives en oligoéléments.

Sel	*Milliéquivalent par litre*	*Concentration millimolaire*	*mg / litre de solution (p.p.m.)*	*Poids de sel dans 100 litres de la solution*
$MnSO_4 4H_2O$	0,020	0,010	0,550 Mn	0,223 gm
$CuSO_4 5H_2O$	0,002	0,001	0,064 Cu	0,025 gm
$ZnSO_4 7H_2O$	0,002	0,001	0,065 Zn	0,029 gm
H_3BO_3	0,150 (B^3)	0,050	0,540 B	0,310 gm
$(NH_4)_6MO_7O_{24}4H_2O$	0,003 (Mo^6)	0,0005	0,048 Mo	0,009 gm
Fe(Na)EDDHA *(1)*			0,500 Fe	-

(1) Le fer a été appliqué sous forme de Séquestrène 138-Fe (Fe-EDDHA) qui contient 5 pour cent de fer.

e) Apport de fer .

Dans nos essais préliminaires de culture de pêchers sur gravier, avec des solutions nutritives, nous avons constaté l'inefficacité du sulfate de fer même à une concentration de 1000 p.p.m. (ce sel se décompose très vite en $Fe(OH)_3$ ui est insoluble dans l'eau) . Cependant en culture aquatique, et à cause de l'agitation constante de la solution par l'air comprimé, le fer, même dans la forme insoluble, reste disponible pour les racines . Pour ces raisons nous avons très généralement apporté le fer sous forme de sequestrène de fer dont le nom chimique est l'acide éthylène diamine (di-hydroxyphényl) acétique (EDDHA),et la formule la suivante :



Son nom commercial est sequestrène 138-Fe, de poids moléculaire 360 . Ce produit contient 5% de fer . Le fer combiné est sous forme ferrique . Le complexe Fe-EDDHA est très soluble dans l'eau , quel que soit le pH . Il donne une solution rouge sombre . La solubilité parfaite du produit à tous les pH le caractérise et le différencie de toutes les autres formes de fer, organiques ou minérales, qui précipitent rapidement principalement sous forme d'hydroxyde . Il est prouvé que le fer se dissocie de la molécule EDDHA avant d'être utilisé par la plante .

Dans nos expériences avec le fer radioactif, la source de fer était le $^{59}FeCl_3$, dilué par $FeCl_3$ et HCl. Cette solution étant ensuite diluée par $FeSO_4$, pour obtenir la solution nutritive . La quantité de $FeCl_3$ apportée étant insignifiante .

Sols naturels utilisés .

Différents types de sols furent utilisés dans nos études . Les sols calcaires provenaient de régions où le pêcher chlorose, sols de Saintes (Charente), La Brède (Gironde) .

- Saintes = sol argileux, pH 8, 25 très calcaire
- La Brède = sol limoneux, pH 7, 4 modérément calcaire
- La Grande Ferrade = sabloneux, pH 7, 0 non calcaire .

Un sol témoin non calcaire fut prélevé à la Grande Ferrade, nous indiquons au tableau III l'analyse de ces sols .

Tableau III

Caractéristiques de divers sols employés pour étudier le phénomène de la chlorose chez les pêchers

Origine	*Nature du sol*	*Calcaire en p.100*		*pH (à l'eau)*
		Total	*actif*	
Saintes	argileux	59,6	16,6	8,3
Antibes	limoneux	5,0	2,3	7,2
Soulignac	limoneux	20,0	4,8	7,8
La Grande Ferrade	sableux	1,7	1,3	7,0
La Brède	limoneux	2,3	1,7	7,3

Matériel végétal .

Dans nos essais nous avons cherché à utiliser un matériel végétal bien défini, afin que ceux-ci soient reproductibles, un de nos objectifs étant la comparaison de divers cultivars en ce qui concerne leur nutrition en fer .

Nous avons donc utilisé :

a) soit des plants de semis très homogènes provenant de lignées reproduites par autofécondation : 7 lignées de pêchers ont été utilisées, mais pour la plupart des études, nous avons utilisé les lignées G F 305 et G_1 S- 2811 (Nemaguard) . Le développement des semis de pêchers appartenant à différentes lignées bien définies est aussi homogène que celles des boutures d'un même clône (voir figure n°2),

b) soit des boutures (quelques pêchers et tous les hybrides, pêchers x amandiers) .

c) soit des plants greffés d'une même variété sur différents porte-greffes .

Après stratification, les noyaux sont placés dans du sable grossier . Au bout de trois semaines, les semis sont transplantés dans du quartz en faisant attention de garder les cotylédons intacts . Cependant, dans les cas où la pourriture des cotylédons était trop importante, tous les semis furent plantés sans les cotylédons . Les boutures de pêchers et pêchers-amandiers furent faites en Juin . On utilisa des fragments de tige à 4 feuilles dont l'extrémité inférieure était traitée pendant une seconde avec une solution à 1000 p.p.m. d'acide indol butyrique (A.I.B.) .

Variation du pH de la solution nutritive .

La solution nutritive est amenée au pH désiré par apport de NaOH et KOH (mélange équimolaire) ou d'un mélange d'acides nitrique, chlorhydrique et sulfurique . Ce mélange fut utilisé pour éviter l'accumulation d'un seul type d'anion .

Pureté des produits chimiques utilisés .

Les produits utilisés furent des produits chimiques pour usage de laboratoire qui nous ont paru suffisamment purs pour nos travaux .

Mesure de l'intensité de la chlorose .

L'intensité de la chlorose fut appréciée par observation visuelle . Une gamme complète de coloration comportant 8 classes fut élaborée . Nous avons ainsi défini des indices de chlorose . L'indice 0 correspond à l'absence de tout symptôme . L'indice 7 correspond à l'absence totale de chlorophylle .

La figure n°3 représente cette échelle de notation . On a recherché la relation existant entre la teneur en chlorophylle (totale A et B) et les indices de chlorose . La chlorophylle fut extraite en milieu acétonique et dosée selon la méthode de Mc KINNEY (1941) .

La variation de la teneur en chlorophylle en fonction des différentes techniques de prélèvement d'échantillons et d'autres facteurs est décrite dans le premier chapitre des résultats .

Nous avons réalisé les analyses dans les différents laboratoires du Centre de Recherche Agronomique de Bordeaux .

semis GF 305

FIGURE 2 : La croissance des plants de semis de pêchers appartenant à différentes lignées bien définies est aussi homogène que celle des boutures d'un même clône.

FIGURE 3 : Echelle d'intensité de chlorose utilisée dans nos essais (indices de 1 à 7).

PREMIERE PARTIE

CONDITIONS DE LA CHLOROSE

La chlorose ferrique, caractérisée par la disparition de la chlorophylle, est souvent décelée chez le pêcher cultivé en plein champ . Son étude dans le milieu naturel est difficile en fonction des variations de ce milieu .

Nous avons voulu, dans notre étude, suivre l'apparition de la chlorose chez un semis homozygote de pêcher en culture hydroponique, localiser la disparition de la chlorophylle et étudier l'effet de la chlorose sur la physiologie générale de l'arbre .

Nous avons ensuite étudié l'incidence des différentes doses de fer sur le développement de la chlorose, sur son apparition et sa disparition en fonction des variations de sa teneur dans les solutions nutritives .

L'incidence d'autres facteurs du milieu sur la chlorose ferrique a été également suivie : rôle des ions OH^- , oligoéléments et éléments majeurs .

Enfin, nous avons examiné les différences de comportement à la chlorose de différentes lignées de pêchers et de quelques hybrides du sous genre Amygdalus en vue de mettre au point une méthode rapide de sélection .

CHAPITRE I

DESCRIPTION ET CARACTERISTIQUES DE LA CHLOROSE FERRIQUE CHEZ UN SEMIS HOMOZYGOTE DE PECHER (G F 305)

Ces observations ont été faites en culture hydroponique sur quartz broyé en bacs de 1000, 500, 250 et 35 litres . La solution nutritive fournissait différentes quantités de fer allant de traces jusqu'à 0,25 p.p.m. (5 p.p.m. de séquestren de fer) . Les résultats sont résumés dans les paragraphes suivants .

A - LOCALISATION DE LA DISPARITION DE LA CHLOROPHYLLE , EN FONCTION DU DEVELOPPEMENT DE LA CHLOROSE .

La chlorose ferrique est caractérisée par la disparition de la chlorophylle entre les nervures de la feuille . Les nervures restent vertes, même quand la chlorose est très grave et que les feuilles semblent totalement jaunes . Dans les cas les plus sévères, les feuilles deviennent souvent blanches, la nervure centrale restant verte . Au stade ultérieur, cette nervure elle-même devient blanche, et il se développe sur la feuille des zones brunes, nécrosées .

Les feuilles souffrant de chlorose ferrique peuvent être réparties en trois groupes, selon la gravité des symptômes observés :

1- Disparition de la chlorophylle entre les nervures ,

2- Disparition totale de la chlorophylle, excepté dans la zone centrale,

3- Disparition de la chlorophylle de la nervure centrale et apparition de nécroses .

La disparition de la chlorophylle n'est pas uniforme sur toute la surface de la feuille . La concentration en chlorophylle de l'extrémité distale est supérieure à celle de l'extrémité proximale . Cette

répartition de la chlorophylle foliaire est très semblable à celle du fer trouvée dans les feuilles de plantes carencées que l'on réalimente en fer, ainsi que l'ont montré nos autoradiographies .

Très souvent, la concentration en chlorophylle varie de la moitié gauche à la moitié droite de la feuille. Cette différence peut être expliquée par la phyllotaxie du pêcher et son système vasculaire.

B - EVOLUTION DE LA DISPARITION DE LA CHLOROPHYLLE .

La teneur en chlorophylle des feuilles complètement chlorotiques est nulle, et leur couleur est blanche . A l'opposé, les feuilles d'une plante recevant assez de fert sont vert sombre . Entre les deux couleurs, on peut, à l'œil, discerner six stades de coloration variant du vert jaunâtre au blanc . Nous avons mentionné ces degrés de chlorose ferrique dans une échelle de chlorose qui a été utilisée dans toutes nos expériences pour décrire l'intensité de la chlorose ferrique (figure n°3) .

- 1er degré : comme on peut le voir sur la figure, le premier stade correspond à l'apparition de petites zones légèrement jaunes entre les nervures . Ceci n'est visible que par une observation attentive et une certaine expérience est de surcroît nécessaire .

- 2e degré : les feuilles sont encore vertes, mais les zones jaunâtres entre les nervures sont nettement visibles .

- 3e degré : la couleur jaune se développe de façon quasi continue entre les nervures, mais dans l'ensemble de la feuille le vert est encore dominant .

- 4e degré : à ce stade, la surface jaune est du même ordre de grandeur que la surface verte .

- 5e degré : la couleur jaune est dominante dans la feuille .

- 6e degré : seule reste verte la zone médiane de la feuille, autour de la nervure centrale . Le reste du limbe est plus blanc que jaune.

- 7e degré : la couleur est devenue blanche et la concentration en chlorophylle de la feuille, est pratiquement nulle .

La diminution du contenu chlorophyllien du limbe est bien plus importante entre les premiers degrés de l'échelle qu'entre les derniers .

La correspondance entre nos indices et la teneur du limbe foliaire en chlorophylle totale A et B est donnée dans les tableaux IV a et IV b (page n° 42). Par comparaison entre ces deux tableaux, on peut remarquer que la concentration en chlorophylle de la nervure centrale doit être relativement plus faible, quand les feuilles sont vertes, que lorsqu'elles sont très chlorosées, par rapport à celles du reste du limbe . Lorsque la chlorose se développe, la nervure centrale reste plus longtemps chargée de chlorophylle .

Nous avons procédé à quelques analyses foliaires pour essayer de relier nos indices de chlorose à une teneur en fer . Nous avons trouvé une bonne relation pour les indices de 0 à 4 pour lesquels les teneurs en fer baissaient de 60 à 40 mg pour 100 mg de matière sèche . Par contre, pour les feuilles d'indice plus élevé que 5, la teneur en fer augmente, mais il faut noter que la teneur en cendre augmente aussi beaucoup chez ces feuilles très chlorosées, mal développées .

Notons aussi que la coloration verte observée à l'œil ne correspond pas toujours à une concentration fixe de chlorophylle, même quand les feuilles sont vert très sombre . Pour une couleur donnée, la chlorophylle varie en fonction de la variété et de l'espèce . Par exemple, si l'on compare des feuilles vert très sombre, d'indice 0 , des pêchers-amandiers GF 677, et des pêchers GF 305, la teneur en chlorophylle pour 100 mg de matière fraîche est significativement plus élevée chez le pêcher que chez le pêcher-amandier (voir tableau IV a).

C - EVOLUTION DES PROPORTIONS DE CHLOROPHYLLE A SUR CHLOROPHYLLE B, AU COURS DU DEVELOPPEMENT DE LA CHLOROSE .

Les tableaux IV a et IV b donnent une bonne idée du contenu en chlorophylle A et B, et de leurs proportions pour les différents stades de chlorose caractérisés par nos indices .

Pour les premiers degrés de la chlorose, le rapport chlorophylle A en chlorophylle B est faible . Quand la chlorose se développe progressivement, la feuille s'appauvrit à la fois en chlorophylle A et B, mais plus rapidement en chlorophylle B, qu'en chlorophylle A .

Le rapport chlorophylle A sur chlorophylle B varie avec l'espèce et la variété . La variation de ce rapport n'a aucun rapport avec la différence de teneur en chlorophylle entre espèces et variétés . C'est ainsi que le pêcher-amandier 677 a un rapport A/B plus élevé que le pêcher GF 305, alors que sa teneur en chlorophylle totale est plus faible .

Tableau IV :

Relation entre l'indice de chlorose et la teneur en chlorophyle des limbes de pêchers GF 305 et pêchers x amandiers GF 577.

a) sans nervure centrale

Indice de chlorose / *Pêchers*	*TENEUR EN CHLOROPHYLLE EN POURCENTAGE DE MATIERE FRAICHE*				*Rapport chloro. A/B*
	Chloro A.	*Chloro B.*	*Chloro. A + Chloro. B*	*Chloro. totale (mesurée directement)*	
0	3,61	1,25	4,86	4,98	2,88
1	2,26	0,89	3,16	3,42	2,53
3	1,84	0,77	2,60	2,93	2,38
4	0,66	0,18	0,84	0,89	3,40
5	0,25	0,03	0,28	0,32	8,33
6	0,04	0,00	0,04	0,09	-
7	0,00	0,00	0,00	0,01	-
Pêchers x amandiers 677 0	2,63	0,93	3,56	3,86	2,82

b) nervure centrale incluse dans l'échantillonnage.

Indice de chlorose pêchers GF 305	*TENEUR EN CHLOROPHYLLE EN % DE MATIERE FRAICHE*				*Rapport chloro. A/B*
	Chloro A.	*Chloro B.*	*Chloro. A + Chloro. B*	*Chloro totale (mesurée directement)*	
0	2,67	1,06	3,73	3,99	2,52
1	2,02	0,88	2,89	3,08	2,79
2	1,15	0,39	1,54	1,74	2,92
3	1,00	0,34	1,34	1,47	2,98
4	0,84	0,26	1,09	1,22	3,21
5	0,29	0,09	0,38	0,46	3,29
6	0,12	0,03	0,14	0,15	4,79
7	0,09	0,02	0,12	0,12	4,50

D - EFFET DE LA CHLOROSE SUR LA PHYSIOLOGIE GENERALE DE L'ARBRE .

Notons d'abord que l'effet d'une chlorose due à une déficience permanente en fer diffère de celui que produit une chlorose provoquée sur une plante ayant toujours reçu un apport suffisant de fer par la privation brutale de ce métal . Dans ce paragraphe, nous ne considèrerons que le premier type de chlorose ; les diverses expériences sont conduites dans des bacs de dimensions variées et on utilise des modes d'irrigation différents, avec une concentration en fer des solutions nutritives, très variable, mais toujours inférieure à celle nécessaire pour assurer une alimentation optimale en fer .

1°- Effet sur la croissance de la partie aérienne .

Nous avons constaté que :

a) L'allongement des rameaux n'est pas influencé par l'état de chlorose correspondant à l'apparition des premiers symptômes .

b) Lorsque la maladie progresse , l'élongation des tiges ne continue pas moins, pendant quelque temps, à une vitesse indépendante des indices de chlorose .

c) Il y a cependant une relation directe entre l'élongation des tiges et la teneur en fer de la solution nutritive (voir figure n°4) .

L'étude du tableau V , page 50 et de la figure n°5 montre que les plantes correctement nourries en fer ont tendance à s'allonger tandis que les plantes carencées tendent à rester courtes, avec un développement plus important de rameaux latéraux .

Il n'y a pas de relation entre la carence en fer et la tendance des plantes à former plus de bois que de feuilles ou vice-versa . Le tableau V montre nettement que le rapport feuille/rameaux reste constant, quelle que soit la quantité de matière sèche existant dans la partie aérienne de la plante .

2°- Effet sur la dimension et la forme des feuilles .

La longueur et la largeur des feuilles sont plus fonction de l'âge du plant et de la saison que de l'état de chlorose de ce plant .

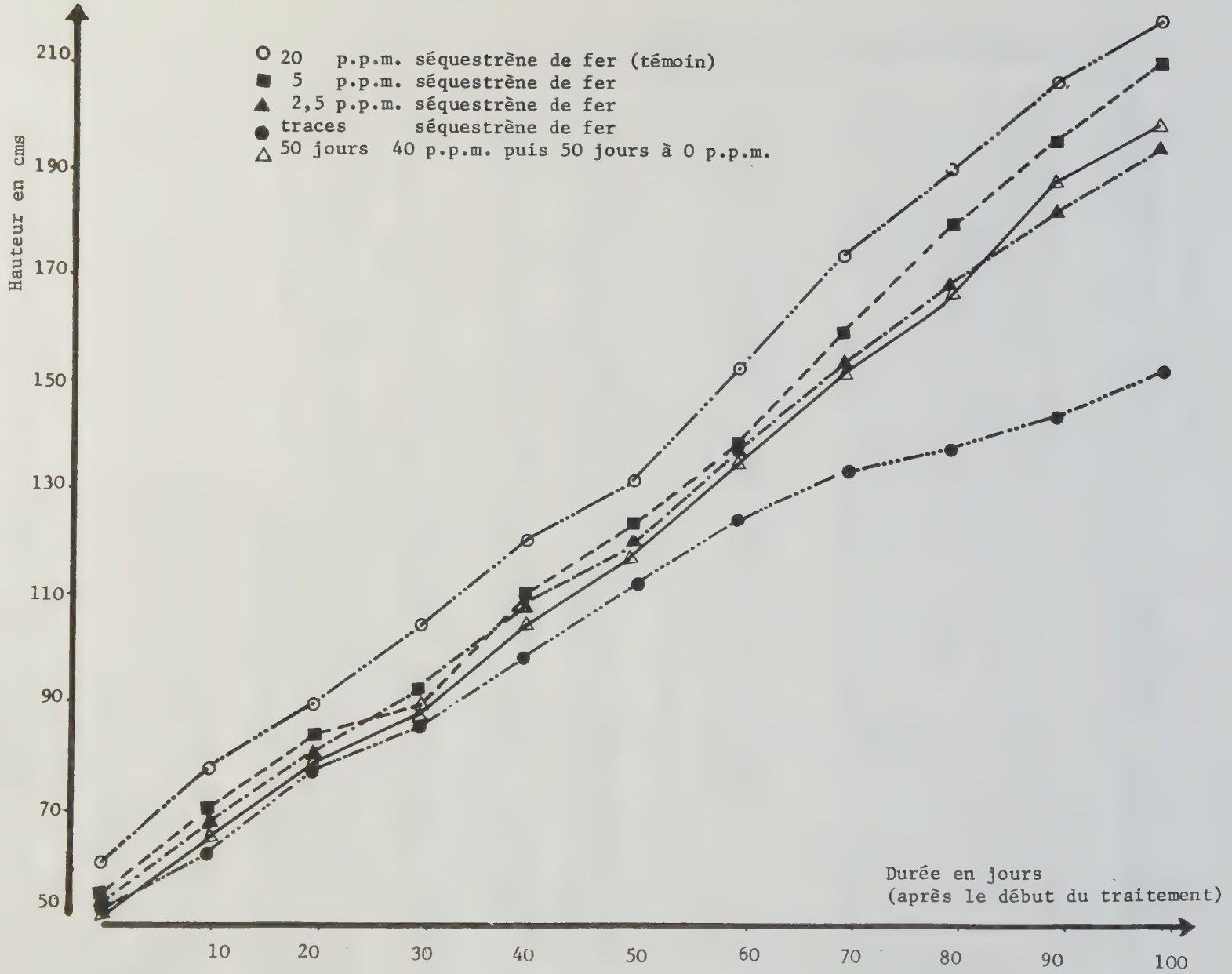


FIGURE 4 : Evolution de la hauteur de pêchers GF 305 alimentés par des solutions nutritives ayant 5 doses de fer.

FIGURE 5 - Modification du type de croissance d'un pêcher GF 305 carencé en fer ; la croissance de la tige principale s'arrête et les rameaux secondaires se développent d'une façon anarchique.

La chlorose semble donc avoir peu d'effet sur la forme de la feuille (figures n°6-7,p.48-49)Seul un état très chlorosé tend à rendre les feuilles plus courtes et plus étroites ; le bord du limbe est alors très irrégulier et le tissu longeant la nervure centrale plissé (voir figure n°3).

3°- Effet sur les racines .

En culture hydroponique, nous avons obtenu une série d'échecs, lors de nos tentatives de transplantation de semis de pêchers sans cotyledons, de boutures de pêchers et surtout de boutures d'hybrides pêchers-amandiers . Il faut en effet une concentration importante de fer dans la solution pour faire "reprendre" les boutures de pêchers-amandiers, même si elles ont avant transplantation un système radiculaire déjà développé . Une concentration en séquestrène de 20 mg/l (p. p. m.) est ainsi nécessaire pour reprendre l'initiation radiculaire, alors que des traces suffisent à la plante quand les racines sont en croissance active . Quand les plantes ont bien repris leur croissance (après transplantation), il semble que la croissance des racines est moins affectée que celle de la partie aérienne par la carence de fer (tableaux p.) donnant les rapports partie aérienne/racines .

4°- Effet sur la dominance du bourgeon terminal par rapport aux bourgeons latéraux .

Une plante normale et verte continue à croître à son apex, ses rameaux latéraux se développant normalement, ce qui donne à la plante son aspect conique caractéristique . Par contre, s'il y a carence en fer, la croissance du bourgeon terminal s'arrête très vite , en formant au sommet de la plante une rosette de feuilles aux entre - nœuds très courts . Ici et là, un rameau secondaire se développe, dépasse la pousse centrale, puis cesse à son tour de croître, d'autres peuvent alors suivre le même processus (figure n°5) . Mais si l'on apporte à une plante de ce type, fortement chlorosée, une dose de fer suffisante, tous les bourgeons latéraux, ainsi que le bourgeon apical recommencent à croître . Les rameaux latéraux ainsi formés sont de plus en plus vigoureux (figure n°8), leur vigueur dépendant directement de leur distance de l'apex . Ce phénomène donne à l'extrémité de la plante l'allure d'une corymbe, les rameaux latéraux les plus éloignés du sommet poussant plus vigoureusement . Ceci peut s'expliquer si l'on considère l'importance relative des faisceaux vasculaires conduisant aux pousses récemment développées et par rapport à celles conduisant au sommet en rosette .

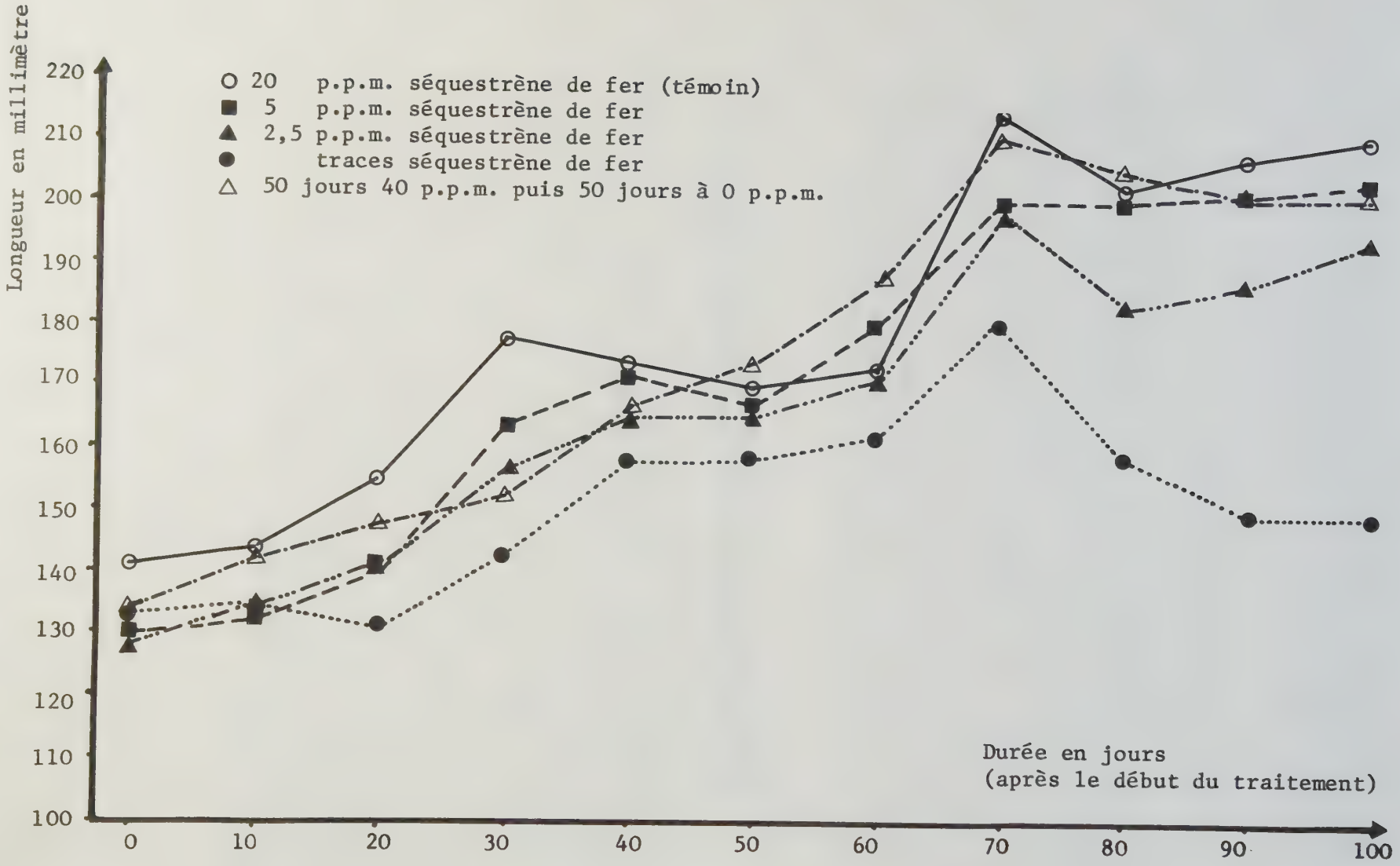


FIGURE 6 : Evolution des longueurs des nouvelles feuilles (complètement développées) de pêchers GF 305 (moyenne de 60 feuilles; 12 répétitions) alimentés par des solutions nutritives ayant 5 doses de séquestrène de fer.

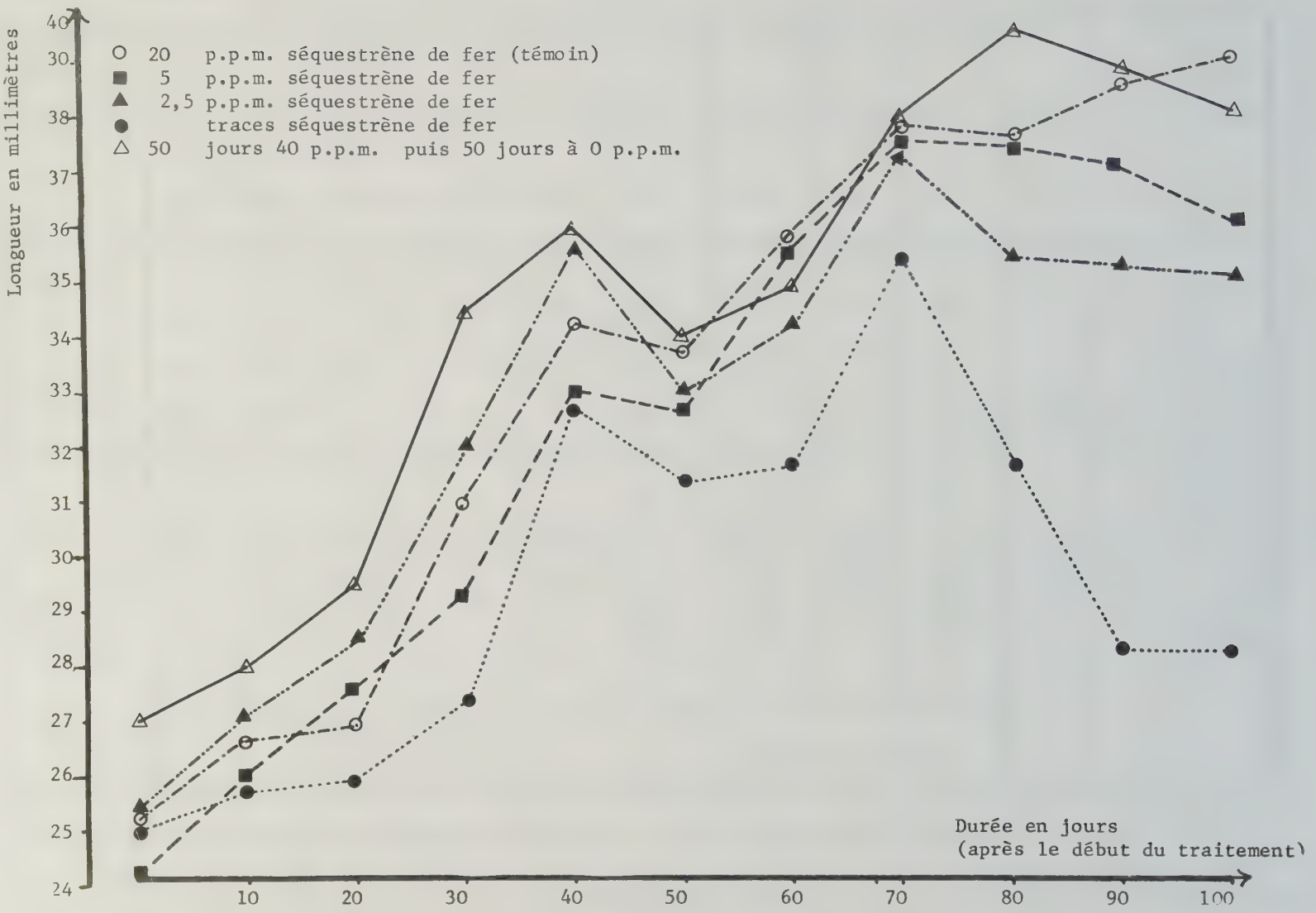


FIGURE 7 : Evolution de la longueur des nouvelles feuilles (complètement développées) de pêchers GF 305 (moyenne de 60 feuilles; 12 répétitions) alimentés par des solutions nutritives ayant 5 doses de séquestrène de fer.

Tableau Va : Croissance et changements de comportement de pêchers GF 305 à la suite de traitements avec 5 teneurs en fer.

Expérience de l'année 1968.

Concentration en fer (1)	Poids en matière sèche en grammes						Rapport de poids			hauteur des plantes	Nombre de noeuds	Longueur moyenne des entrenoeuds
	feuilles	rameaux latéraux	tige centrale	racines	partie totale aérienne	tige + rameaux	rameaux et tige centrale	bois et feuilles	partie aérienne et racines			
traces	283	139	302	152	723	441	2,17	1,56	4,76	134	32,2	4,0
2,5	419	247	401	207	1067	648	1,62	1,54	5,15	193	40,8	4,7
5	594	322	593	190	1566	915	1,56	1,54	8,24	192	47,5	4,1
20	630	379	636	193	1588	1015	1,97	1,61	8,22	191	45,7	4,1
40-0 (2)	356	194	402	149	981	596	2,07	1,67	6,58	176	41,0	4,3
p.p.d.s. à p. 5 %	70	49	89	31								
à p. 1 %	93	36	120	46								

(1) : mg/l de séquestrène de fer contenant 5 % de fer.
(2) : les plantes furent traitées pendant 50 jours avec 40 mg/l de séquestrène suivi par une diminution brutale de fer jusqu'au voisinage de zéro.

Tableau Vb : Croissance et changements de comportement de pêchers GF 305 à la suite de traitements avec 2 dosages de fer.

Expérience de l'année 1969-1970.

Concentration en fer	*Poids en matière fraiche en grammes*				*Longueur entre-noeud (cms)*	*Rapport bois/feuilles*	*Rapport des poids partie aérienne/ racines*
	feuilles	*tiges*	*racines*	*partie totale aérienne*			
très faible	21,2	31,6	25,0	52,8	2,4	1,49	2,11
faible	43,0	62,8	35,6	105,8	2,9	1,46	2,97
p.p.d.s. à p. 5 %	6,1	3,7	6,9				
à p. 1 %	4,1	5,0	9,3				

FIGURE 8 : Croissance différente (ramification) de trois pêchers GF 305 très bien alimentés en fer après avoir été préalablement non carencé, carencé et très carencé.

CHAPITRE II

INCIDENCE DE DIFFERENTES DOSES DE FER SUR LE DEVELOPPEMENT DE LA CHLOROSE CHEZ LES SEMIS DE PECHERS G F 305

Nous avons utilisé cette sélection (G F 305) de pêcher en raison de sa grande homozygotie .

A - RECHERCHE DE LA DOSE LIMITE PERMETTANT L'APPARITION D'UNE CHLOROSE MODEREE .

Rappel du problème :

Les premiers chercheurs, tels WEINBERGER et CULLINSEN (1936), WALTMAN (1940), HAYWARD et coll. (1946) apportaient le fer aux pêchers en culture hydroponique sous forme de citrate ou de magnétite broyée . Il s'agit alors d'un oxyde insoluble dans l'eau et l'on pense que c'est l'action des racines qui le rend utilisable par le pêcher . L'emploi du fer sous forme de chelates a fait abandonner les composés insolubles (magnétite) ou chimiquement instables (citrate) . Les chelates sont très solubles dans l'eau, et on les utilise à des doses de l'ordre de quelques p. p. m. , dans les solutions nutritives . Pour HEWITT(1966), la concentration optimale pour beaucoup d'arbres fruitiers est 2, 8 p.p.m. de fer, ce qui correspond à 56 p. p. m. de séquestrène de fer .

Sachant que, de longue date, les pêchers sont réputés être plus sensibles à la chlorose ferrique que la plupart des arbres fruitiers, nous avons utilisé des concentrations en fer variant de 1 à 20 p. p. m. , soit 20 à 400 p. p. m. de séquestrène, ceci afin de déterminer les doses de fer optimale et minimale . Ces expériences furent faites en bacs 500 et 250 au début . Plus tard, nous avons utilisé des bacs 35 et des bacs 1000 . Il ressort de ces différents essais que 20 p. p. m. de fer (400 de séquestrène) n'est pas encore une dose toxique et que 1 p. p. m. de fer (20 de séquestrène) est encore suffisant pour éviter tout phénomène de carence .

Partant de ces bases, nous avons alors utilisé des concentrations variant de traces de séquestrène jusqu'à 40 p. p. m. , avec comme intermédiaires 1, 2, 5, 10 et 20 p. p. m. Après deux mois de culture, il apparaît que 40 p. p. m. de séquestrène étaient une teneur supérieure aux concentrations optimales . Cette concentration fut donc abandonnée . L'observation du même matériel végétal pendant un à deux ans a montré qu'une dose de séquestrène comprise entre 2, 5 et 5 p. p. m. permet l'apparition de la chlorose non seulement pour le pêcher G F 305, mais chez la plupart des lignées . La dose doit être ramenée à 1 p. p. m. pour l'amandier et le prunier . A 5 p. p. m. de séquestrène, amandiers et pruniers ne présentent aucun symptôme visible de chlorose .

B - ETUDE DE L'APPARITION ET DE LA DISPARITION DE LA CHLOROSE EN FONCTION DES VARIATIONS DE LA TENEUR EN FER DES SOLUTIONS .

Les symptômes de chlorose se manifestent d'abord sur les jeunes feuilles et les nouvelles pousses . Ceci est le plus caractéristique de la chlorose ferrique . Mais on peut observer de plus une différence de couleur entre les feuilles, poussées quand le milieu était carencé en fer et les feuilles plus âgées, poussées quand la nutrition en fer de la plante était correcte : les premières sont plus jaunes que les secondes.

On peut aussi noter que le contraste existant entre les nervures vert sombre et la zone internervaire jaune d'une feuille, pauvre en chlorophylle par suite de chlorose ferrique, tend à diminuer quand cette feuille vieillit .

Pour une concentration donnée de fer, l'apparition ou la disparition de la chlorose est fonction de deux facteurs :

a) la gravité de la déficience,
b) le temps de "réaction" des plantes .

On a déjà noté qu'une concentration de 0, 5 p. p. m. de fer (10 p. p. m. de séquestrène de fer) dans la solution nutritive suffit à la croissance correcte d'un pêcher G F 305 . La concentration minimale est de l'ordre de 0, 05 p. p. m. de fer (1 p. p. m. de séquestrène de fer) . Au-dessous de ce minimum, les pêchers cessent vite de croître, ils se nécrosent et meurent .

Un arbre nourri avec une solution de concentration comprise entre ces deux limites continue à croître, en manifestant des symptômes plus ou moins graves . Notons que ces deux limites inférieures et supérieures sont sujettes à variations, elles dépendent de certains facteurs influant sur la chlorose ferrique .

1°- Apparition de la chlorose .

Le temps nécessaire aux plantes pour réagir à une diminution ou à la suppression du fer est assez court, de l'ordre de quelques jours .

Si l'on cultive en milieu liquide totalement privé de fer des pêchers de semis de un mois, on observe des symptômes de chlorose au bout de 8 jours . Mais quand le milieu de culture n'est pas totalement dépourvu de fer, le temps nécessaire à la plante pour réagir est plus long . Il est d'autant plus long que la teneur en fer du milieu est plus proche de la concentration suffisante par une croissance correcte .

2°- Disparition de la chlorose .

La disparition de la chlorose suit plus ou moins le même processus que son apparition avec la seule différence que celle-ci est plus facile à observer .

Une plante très chlorosée à cause d'une quantité de fer insuffisante dans la solution nutritive, peut, quand on lui donne assez de fer, produire de nombreuses branches latérales vertes . Celles-ci sont toutes vert foncé, aussitôt après le quatrième jour d'application du fer .

Ces observations ont été confirmées pour d'autres types de chlorose ferrique par exemple pour la chlorose provoquée par une quantité de calcaire élevée dans le sol ou pour une chlorose provoquée par un blocage du fer lié à la présence d'une trop grande quantité de métaux lourds .

Les nouveaux tissus formés contrastent avec les vieilles feuilles chlorotiques . Celles-ci, si elles ne sont pas complètement développées, peuvent partiellement ou complètement reprendre leur couleur verte . Ainsi, nous avons remarqué que les feuilles adultes chlorotiques qui ont déjà atteint leur pleine croissance, continuent à rester jaunes indépendamment de la couleur verte des nouvelles feuilles . Ceci a été confirmé d'une part en apportant aux plantes du séquestrène de fer, et, d'autre part, en les transplantant du quartz sans fer, sur un sol normal, non chlorosant .

Quand une feuille qui n'est pas encore adulte commence à verdir de nouveau, elle verdit sur les parties qui, étaient déjà plus vertes que sur les parties qui étaient les plus chlorotiques . Ainsi, le contraste entre les plages vertes et blanches sur une telle feuille est très marqué .

Nous avons remarqué que même les feuilles mal formées à cause d'une carence en fer, peuvent, par la suite retrouver complètement une couleur verte dans la mesure où on donne suffisamment de fer lorsqu'elles sont encore en développement .

La réaction de la plante est visible dans les quatre jours environ qui suivent une application adéquate de fer (Il est intéressant de remarquer que cette durée est la même que celle que demande le fer radio-actif pour atteindre le sommet végétatif de la plante) .

Des feuilles plus âgées, mais cependant encore adultes peuvent devenir complètement ou partiellement d'un vert normal suivant leur âge . Ainsi, des feuilles complètement adultes ne peuvent jamais devenir complètement vertes bien qu'elles puissent gagner quelques degrés dans l'intensité de leur couleur verte .

Les feuilles adultes extrêmement chlorosées, tombent par un phénomène d'abscission, lorsque l'on apporte à la solution nutritive une quantité optimale de fer . Une assez petite dose de fer (1 p. p. m. de séquestrène) apportée à une plante pas trop chlorosée produit une amélioration de son état chlorotique; si cette dose est appliquée à une plante très chlorosée (dormance de l'extrémité et nécrose foliaire) on ne constate aucune amélioration, cependant, si une telle plante est rabattue, les bourgeons de la base redonnent des pousses normales . Une grande quantité de fer (20 p. p. m. de séquestrène) appliquée à une plante très chlorosée produit une véritable régénération .

C - EFFET CUMULATIF DE DOSES FAIBLES DE FER INDUISANT UNE CHLOROSE TRES RETARDEE .

On avait déjà vu que la suppression totale du fer dans le milieu nutritif laissait apparaître la chlorose dans un délai très court de l'ordre d'une semaine . Avec une dose suffisante (10 p. p. m. de séquestrène), la chlorose n'apparaît jamais . Avec une dose inférieure de 2, 5 ou 5 p. p. m. , la chlorose apparaît beaucoup plus tard (voir tableau VI) .

Tableau VI

Date d'apparition des premiers symptômes de la chlorose chez deux lignées: une résistante et l'autre sensible à la chlorose (GF 305 et Nemaguard) à la suite de l'application de 4 doses de séquestrène de fer.

Dates de début des traitements		18 juillet 1968			
Dose de séquestrène de fer		+ 0 ppm	2,5 ppm	5 ppm	10 ppm
Date de l'apparition des premiers symptômes de la chlorose	GF 305	22.8.1968	6.10.68	jamais	jamais
	G_1S 2811 (Nemaguard)	29.6.1968	7.9. 68	6.10.68	jamais

Dans une expérience réalisée en bac "Riviéra", des semis de pêchers GF 305 furent traités avec une solution nutritive complète, riche en fer pendant trois semaines . Par la suite, ces plants furent divisés en 6 catégories et reçurent des doses différentes de fer : 0 , 0,2, 2,5, 5 et 10 p. p. m. de séquestrène (la dose 0 a été utilisée ici car les graviers de quartz retenaient encore des traces de fer à la suite de l'application précédente de la solution riche en fer) . L'apparition des symptômes de chlorose fut d'autant plus retardée que la dose de fer était plus élevée (voir tableau VI et figure n°9), avec 5 p. p. m., la chlorose n'apparaissant qu'après plusieurs mois . La même expérience a été répétée avec d'autres pêchers plus sensibles à la chlorose (boutures de Nemaguard (S2811) et nous avons obtenu la chlorose après 8 mois avec la dose la plus élevée de 10 p. p. m.

La durée nécessaire pour que la chlorose apparaisse est donc fonction de la concentration du fer utilisé dans la solution nutritive. On peut exprimer cette relation par le schéma indiqué (voir figure n°10).

Remarque : De faibles concentrations de fer provoquent des modifications probablement cumulatives dans le métabolisme des plantes , l'effet de ces modifications conduit à un seuil d'apparition de la chlorose.

Nous pouvons ainsi trouver une explication probable au fait que chez de nombreuses espèces, la chlorose n'apparaît souvent dans les vergers que quelques années après la plantation .

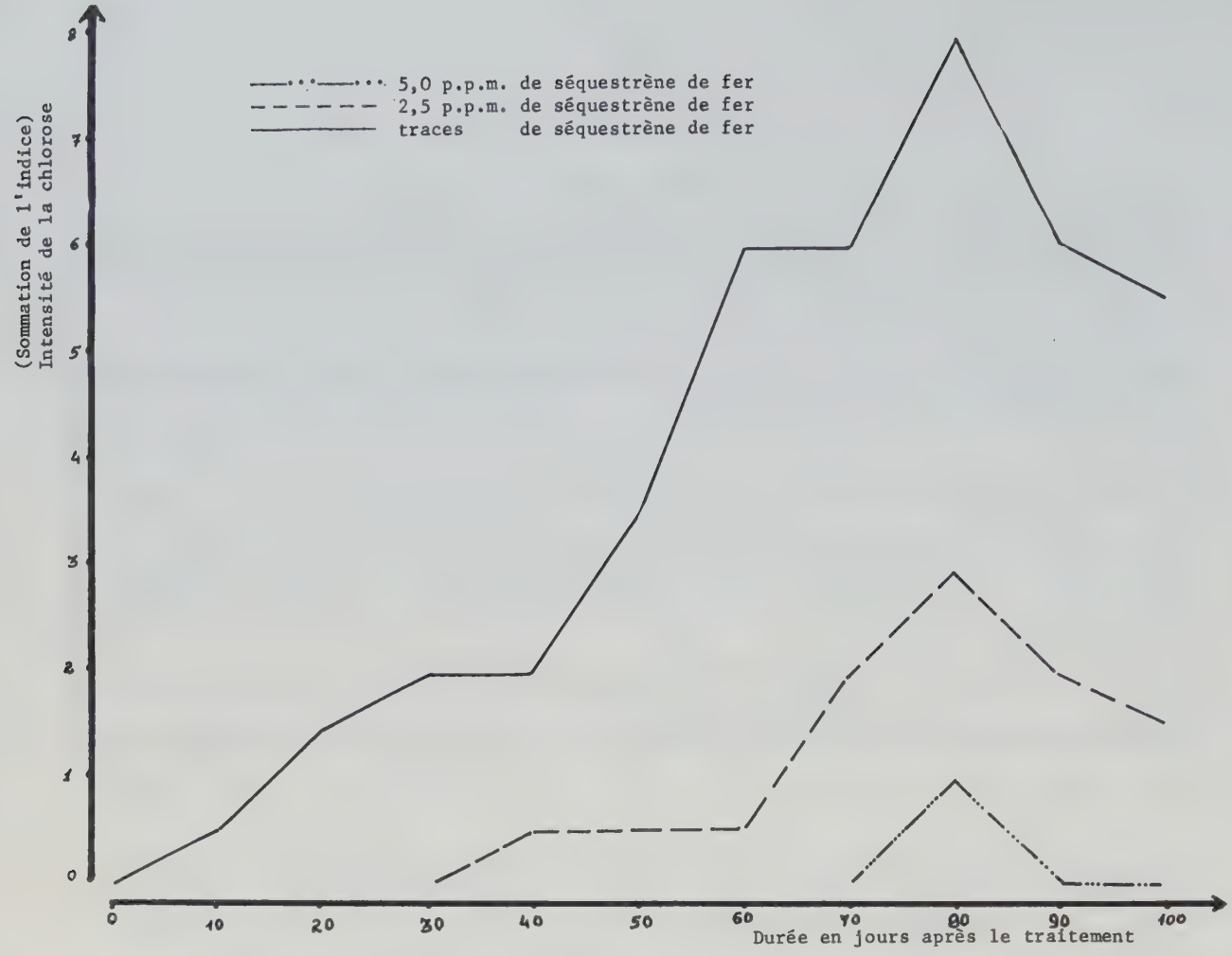


FIGURE 9 : Evolution de l'intensité de la chlorose chez les jeunes pêchers GF 305 alimentés par des solutions nutritives carencées en fer.

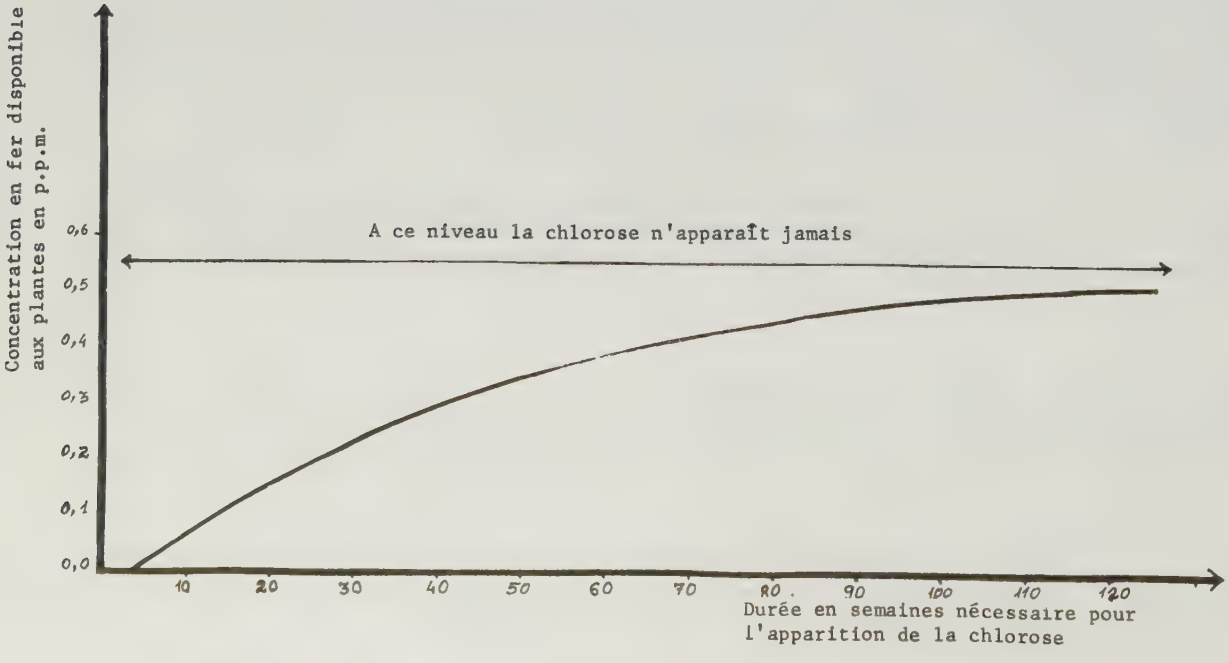


FIGURE 10 : Schéma proposé pour montrer la relation entre la concentration de fer disponible et la durée nécessaire aux plants pour extérioriser les symptômes de la chlorose sur les jeunes semis de pêcher.

Le fait que des arbres fruitiers chlorosent parfois tardivement ne serait peut-être pas dû, comme on le croit souvent, à la rencontre par les racines d'une couche de terre profonde plus calcaire . Par ailleurs, les études réalisées sur le développement des racines , montrent que les racines d'un jeune arbre occupent très rapidement toute la profondeur de sol disponible et qu'elles n'ont pas tendance à se développer dans les zones défavorables .

D - EFFET SUR DES PLANTES NORMALEMENT ALIMENTEES D'UNE DIMINUTION BRUTALE DU FER DANS LA SOLUTION NUTRITIVE .

Des jeunes semis de pêchers de trois lignées différentes (GF 305) Nemaguard et G_1 S 300) ont été cultivés du début Juin jusqu'à la fin du mois d'Octobre dans des bacs 500 . Ces pêchers ont été répartis dans 5 bacs de façon à ce que les trois lignées soient représentées dans chaque bac . Cinq types de nutrition furent appliqués pour chaque lot d'arbres comportant les trois lignées :

1- Un lot témoin alimenté pendant toute la saison avec 20 p. p. m. de séquestrène de fer .

2- Un lot alimenté pendant toute la saison avec 5 p. p. m. de séquestrène de fer (carence faible) .

3- Un lot alimenté pendant toute la saison avec 2, 5 p. p. m. de séquestrène de fer (carence moyenne) .

4- Un lot alimenté jusqu'au 29 Août avec 40 p. p. m. de séquestrène de fer puis alimenté ensuite avec une solution nutritive totalement carencée en fer (carence forte) .

5- Enfin, un lot alimenté pendant toute la saison avec des traces de séquestrène de fer (de l'ordre de 1 p. p. m.) .

Le 29 Août, on a lavé le milieu de culture (quartz) du lot 4 à l'eau ordinaire, puis à l'eau permutée avant de la réalimenter avec une solution nutritive totalement carencée en fer . L'effet de ce traitement sur l'apparition de la chlorose a été spectaculaire . Dix jours plus tard, ces plants étaient bien plus chlorosés que ceux recevant par ailleurs 2, 5 p. p. m. de séquestrène en permanence, depuis le début de l'expérience . A la fin de la croissance, soit 8 semaines plus tard, les pêchers de la lignée de NEMAGUARD (du lot n°4) étaient presque aussi chlorosés que leurs homologues qui avaient tout au long de l'expérience, c'est-à-dire dès le début Juin, reçu seulement des traces de fer (lot n°5) . Les deux autres lignées étaient moins chlorosées que leurs homologues, ne recevant que des traces de fer , mais

cependant plus chlorosées que ceux recevant 2, 5 p. p. m. de fer . La chlorose de ces plants, cependant sévère, n'a pas eu d'influence sur leur hauteur ; ces pêchers chlorosés étaient en effet plus grands que ceux traités avec 2, 5 p. p. m. de séquestrène depuis le début Juin et leurs feuilles étaient aussi longues que celles des pêchers cultivés avec 10 p. p. m. de séquestrène et plus larges que celles observées pour tous les autres traitements .

Ces plants jaunes, mais apparemment bien développés présentent cependant :

a) une teneur en matière sèche des racines inférieure à celle des plants homologues ne recevant que des traces de fer .

b) une teneur en matière sèche de la partie aérienne (feuille et tige) presque égale à celle des plantes traitées avec 2, 5 p. p. m. de séquestrène de fer .

c) un développement des rameaux latéraux très réduit (d'un poids analogue à celui observé chez les plantes ne recevant que des traces de fer).

On notera que le rapport pondéral feuille sur rameaux et tige était identique dans tous les traitements et que l'étude du rapport pondéral partie aérienne sur racines montre que le développement de la partie aérienne des arbres brusquement carencés a été plus freiné que celui des racines (voir tableau IV p. 42) . On peut donc conclure que le retrait soudain du fer du milieu nutritif a réellement le même effet qu'une carence prolongée; bien que l'apparence générale de la plante,au début,semble meilleure .

CHAPITRE III

INCIDENCE D'AUTRES FACTEURS DU MILIEU SUR LA CARENCE EN FER

Nous avons étudié , dans le cas du pêcher, d'une façon systématique, le rôle des divers facteurs qui provoquent ou aggravent la chlorose dans les conditions de culture normale et de culture en serre.

A - ROLE DU pH ET SON INTERACTION AVEC LA CARENCE EN FER .

1°- Ces expériences ont été réalisées en bacs "Riviéra" . Des pêchers de semis GF 305 furent plantés le 18-10-68 (6 plants par bac) . Quatre pH différents furent expérimentés . Les pH de la solution nutritive furent 7,4 , 6,6, 5,8, 5 (au-delà de 7,4, on observe un précipité dans le milieu nutritif) . Le pH est amené à 7,4 par apport de NaOH et KOH (mélange équimolaire) . Les pH acides sont obtenus par addition d'un mélange (HCL -HNO_3 - H_2SO_4) . Pour chaque pH , plusieurs dosages de séquestrène de fer furent appliqués, de la façon suivante :

- pour pH 7,4 0- 1,0 - 5,0 - 10,0 p.p.m. de séquestrène de fer
- pour pH 6,6 0- 1,0 - 2,5 - 5,0 p.p.m. de séquestrène de fer
- pour pH 5,8 0- 1,0 - 2,5 p.p.m. de séquestrène de fer
- pour pH 5,0 0- 0,2 - 1,0 - 2,5 p.p.m. de séquestrène de fer .

A / Les plants furent ainsi alimentés pendant vingt semaines (voir figure n°11) .

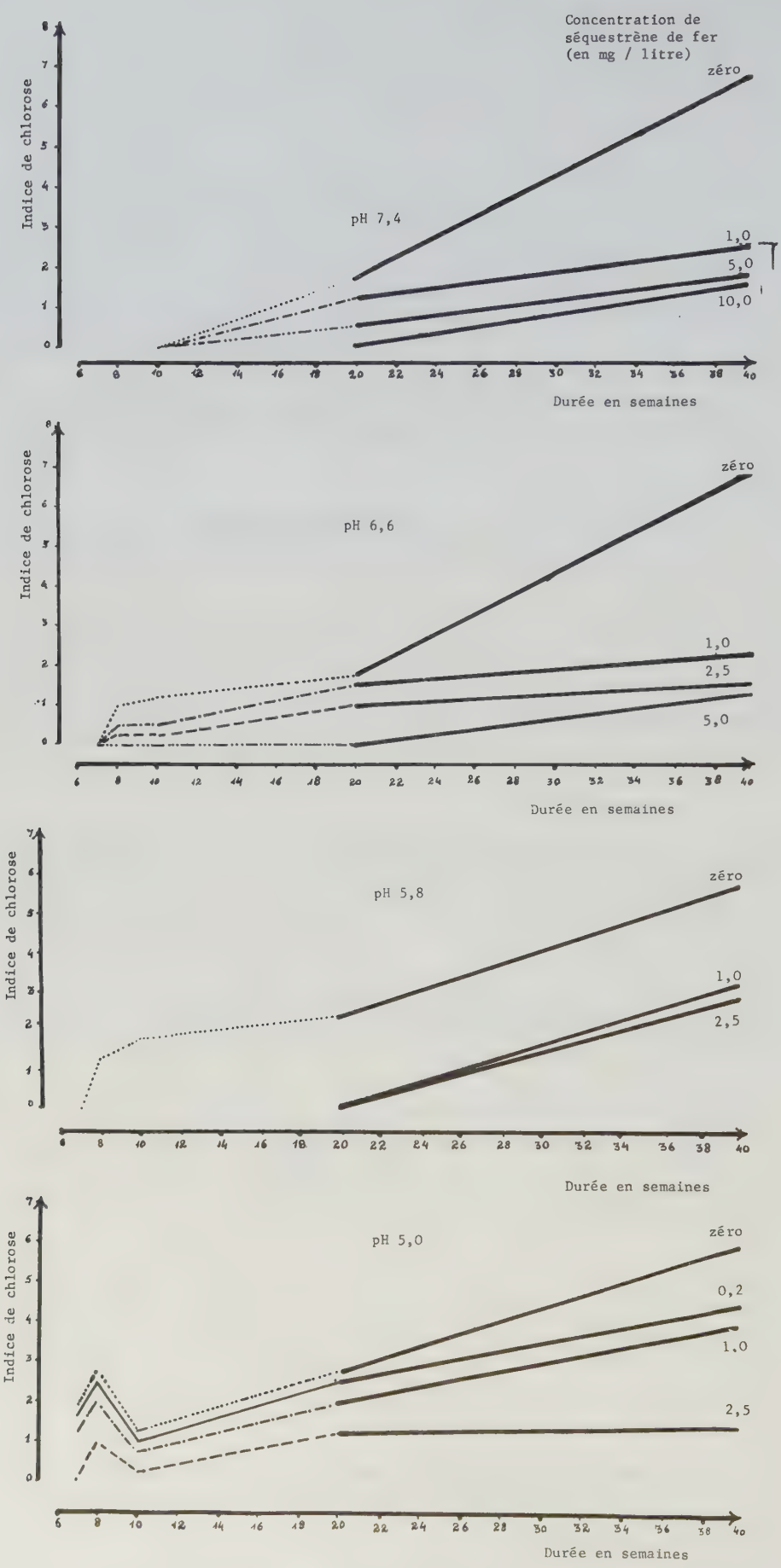


FIGURE 11 : Effet de différents pH et teneurs en fer des solutions nutritives sur l'intensité et le moment d'apparition de la chlorose chez de jeunes pêchers GF 305 pendant les 20 premières semaines après le début des traitements; et effet résiduel de ces traitements pendant les 20 semaines qui suivent l'arrêt de ces traitements.

a) Jusqu'à la sixième semaine, aucune diminution de la croissance ne fut visible, tous les plants avaient environ 50 cm de haut, sans que n'apparaissent nettement de phénomènes de chlorose .

b) à la septième semaine, des symptômes de chlorose se manifestent pour les trois doses les plus faibles (0 -0, 2- 1, 0 p. p. m. de séquestrène de fer) utilisées à pH 5, et la dose la plus faible (0) utilisée à pH 5, 8 . Les autres traitements n'ont pas jusque là manifesté de symptômes de chlorose .

c) à la huitième semaine à pH 5, toutes les doses utilisées provoquent la chlorose , aux pH 5, 8 et 6, 6, la dose la plus faible (0, 0) provoque un début de chlorose, enfin à pH 7, 4, aucun symptôme n'est encore visible .

d) à la vingtième semaine, les plantes cultivées à pH 5 chlorosent toutes nettement et l'intensité de la chlorose est fonction de la dose de fer appliquée . Aux pH plus élevés (5, 8 - 6, 6 - 7, 4), la chlorose pour une même dose apparaît moins marquée . A ce stade, ces résultats apparaissent en opposition avec ce que l'on sait de l'influence du pH sur la chlorose dans les conditions de sol naturel .

B / Après ces vingt premières semaines d'alimentation diversifiée, à la fois pour le pH et pour le fer, l'ensemble de plants fut recepés et alimenté avec une solution nutritive ayant :

1- 2, 5 p. p. m. de séquestrène de fer
2- pH 6, 6 .

Vingt semaines plus tard, c'est-à-dire quarante semaines après le début de l'expérience, toutes les plantes chlorosent plus ou moins . Cependant, on note :

a) une bonne relation entre l'intensité de la chlorose et la faible teneur en fer appliquée au début de l'essai, ce qui fait penser à un effet néfaste durable d'une carence initiale sur les jeunes plants .

b) cette carence résiduelle apparaît plus marquée pour les pH élevés (contrairement à ce que l'on avait observé au début de l'essai (tableau VII) .

c) une concentration initiale en fer même très faible (0, 2 et 1, 0 p. p. m. de séquestrène correspondant à 0, 01 et 0, 5 p. p. m. de fer) conduit à une amélioration très nette de l'état des plants pendant la deuxième partie de l'expérience .

En solution à pH élevé, la chlorose apparaît plus tard, mais se développe plus fortement .

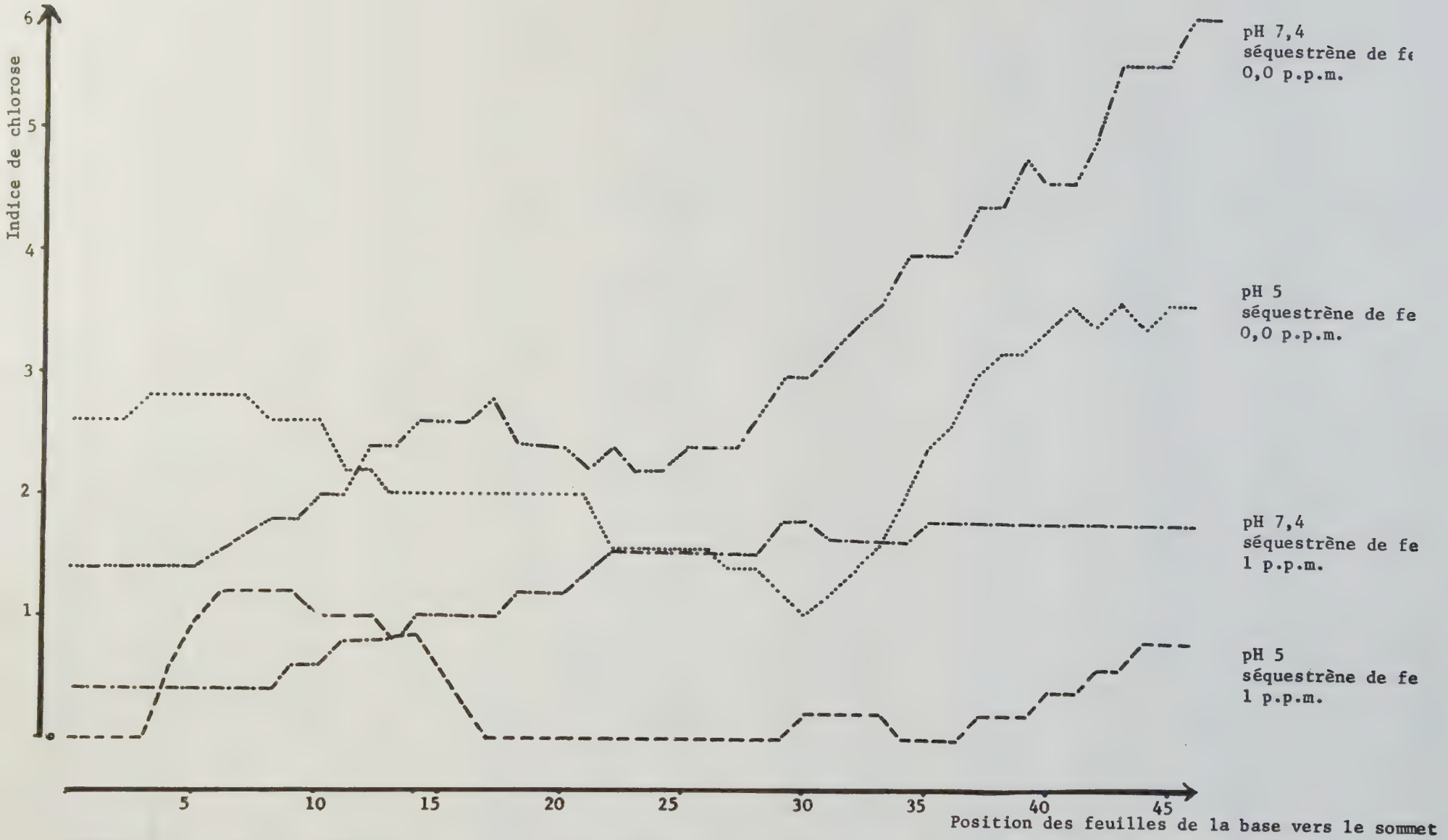


FIGURE 11 bis : Indices moyens de chlorose de jeunes pêchers GF 305 établis feuille par feuille pour des plants alimentés avec une solution nutritive unique (2,5 p.p.m. de séquestrène de fer et pH 5). Les quatre lignes indiquées correspondent à différents types de nutrition appliqués à ces arbres dans une expérience antérieure et terminée par un recépage général des plants.

Tableau VII :

Indice de chlorose foliaire de jeunes pêchers cultivés sur des milieux de différentes teneurs en fer, réglés à différents pH.

(Application pendant vingt semaines de solution de différents pH et différentes teneurs en fer, suivie par vingt semaines d'application de solution nutritive unique avec un dosage faible de fer (2,5 ppm de séquestrène) et pH. 6,6).

Moyenne des notes attribuées pour le sommet de chaque arbre pour 5 répétitions le 3.7.1969 (40 semaines après le début de l'essai.

Numéro de bac	*pH*	*Concentration de séquestrène de Fe (p.p.m.)*	*Indice de chlorose totalisée : (5 répétitions)*
1	7,4	10,0	6
2	"	5,0	7
3	"	2,5	-
4	"	1,0	10
5	"	0,0	29
6	6,6	5,0	6
7	"	2,5	5
8	"	1,0	9
9	"	0,0	28
10	5,8	2,5	11
11	"	1,0	12
12	"	0,0	22
13	5,0	2,5	6
14	"	1,0	12
15	"	0,2	12
16	"	0,0	20
p.p.d.s. à p.5%			5,0
à p.1%			6,8

2°- En Juillet, les plants ayant fait l'objet de l'expérience précédente, furent greffés de la façon suivante : deux variétés de pêchers GF 305 et Earliglow, l'amandier R 486 et l'hybride pêcher - amandier GF 557, furent greffés au hasard sur les plants 3, 4, 5 et 6 de chaque bac . Les plants 1 et 2 furent conservés non greffés et seulement rabattus au moment du greffage des autres plants . Toutes ces plantes furent alimentées avec une solution nutritive contenant 5 p. p. m. de séquestrène de fer .

Parallèlement à l'indice de chlorose des différentes plantes observé la saison précédente à la suite des différents traitements nutritifs reçus avant le greffage, la chlorose a continué assez longtemps à se manifester de la même manière sur les greffons ou les pousses issues du rabattage . Ce n'est qu'à la fin de l'automne que toutes les plantes reprirent un aspect normal, tous les symptômes liés aux pH initiaux et aux carences en fer initiales ayant alors disparu .

Ces observations nous mènent aux conclusions suivantes :

1- Les symptômes de la carence en fer peuvent être masqués pendant un certain temps, mais celle-ci détermine chez les plantes, un trouble durable qui ne peut disparaître que par un apport de fer en quantité suffisante .

2- Les troubles occasionnés par la carence en fer ne sont pas réellement plus importants en milieu alcalin qu'en milieu acide, mais si l'apparition des symptômes est plus précoces à pH acide, il est par contre plus tardif en milieu alcalin : ici, la plante garde plus longtemps un aspect sain, mais les symptômes des désordres qui apparaissent sont plus graves .

Ces observations complètent celles concernant le délai d'apparition des symptômes discutés dans le paragraphe traitant de la carence en fer aux doses légèrement sous-optimales .

On peut considérér que le rôle du pH dans le déclenchement de la chlorose vient de son effet sur la disponibilité du fer, celle-ci étant plus grande à pH bas qu'à pH élevé, bien que Fe-EDDHA soit connu pour être soluble dans toute la gamme des pH . En ce qui concerne les autres éléments (macro ou micro), il n'en est aucun qui soit insolubilisé par une variation du pH de 5 à 7, 4 .

Ces observations ont contribué à la formation de l'hypothèse expliquant le phénomène de la chlorose ferrique formulée à la fin de notre travail . Nous pensons que ces expériences doivent être refaites, non seulement avec les pêchers GF 305, mais aussi avec d'autres lignées de pêchers et d'autres espèces fruitières .

B - INCIDENCE DE LA TENEUR EN AUTRES ELEMENTS NUTRITIFS SUR LA CARENCE EN FER .

Il a été souvent montré que la nutrition en fer peut être déséquilibrée par la présence d'autres éléments nutritifs en quantité trop importante . Ainsi, il est possible de traiter une carence en fer, en procédant à des amendements du sol pour certains éléments, en utilisant ou en évitant l'usage de certains engrais . Nous devions ainsi étudier systématiquement tous les éléments majeurs et les oligo-éléments capables d'avoir une incidence sur la chlorose ferrique . Ces essais ont été réalisés en utilisant de jeunes pêchers GF 305 cultivés dans des bacs de 35 litres sur du gravier régulièrement arrosé avec des solutions nutritives .

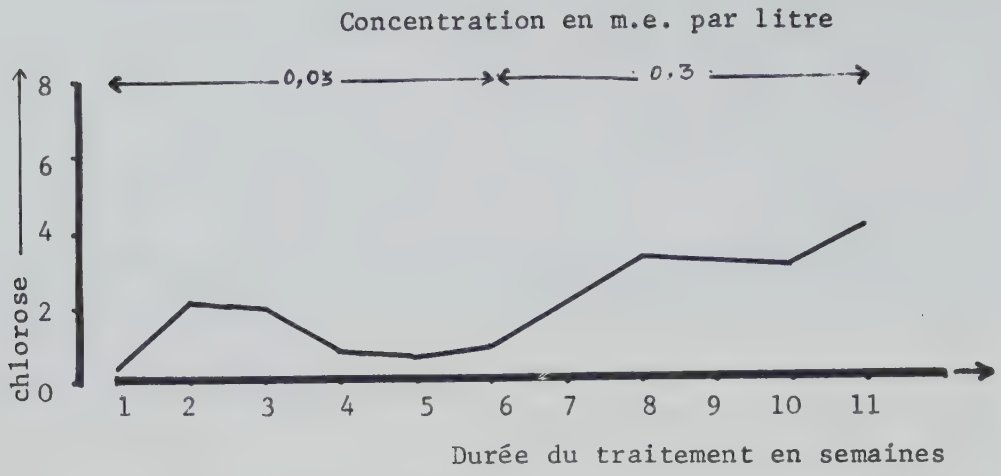
1°- Action des oligo-éléments autres que fer et de leurs doses .

Dans un essai, la concentration de tous les micro- éléments autres que le fer a été multipliée par 20, alors que celle du fer était seulement multipliée par 2 (on a ainsi appliqué 6,0 p.p.m. de Mn, 0,6 p.p.m. de Cu, 0,6 p.p.m. de Zn, 0,05 p.p.m. de Mo et seulement 0,6 p.p.m. de Fe) . Après une période aussi courte qu'une semaine, les symptômes de chlorose ferrique apparurent . Les symptômes évoluèrent jusqu'à un stade d'une extrême intensité . Ceux-ci furent à de nombreux points de vue typiques des symptômes de la chlorose ferrique, cependant parfois de légères différences furent notées : quelques feuilles présentèrent un bord plus blanc et dans les cas extrêmes, les feuilles à leur extrémité n'étaient pas plus vertes que le restant du limbe, comme cela est le cas pour une grave chlorose ferrique provoquée par une alimentation avec une solution nutritive déficiente en fer .

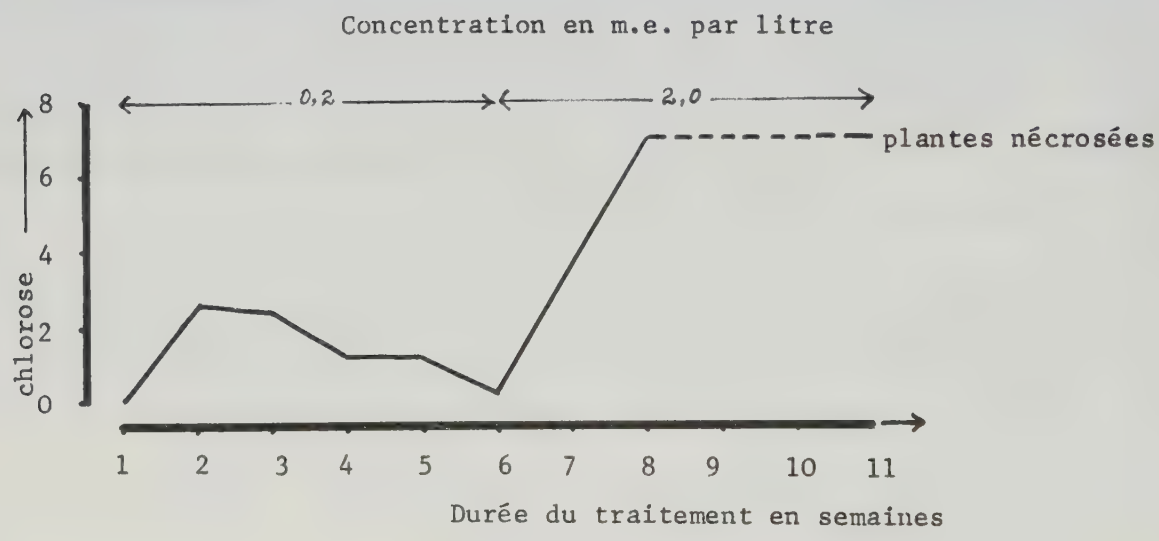
Le milieu de culture de ces plantes gravement chlorotiques fut alors complètement saturé avec une solution nutritive contenant une quantité de fer en proportion avec les autres oligo-éléments, c'est-à-dire que dans cette solution, tous les éléments, y compris le fer, présentaient une concentration 20 fois plus forte que la normale . Les plantes ont réagi en moins d'une semaine et en quinze jours, tous les plants avaient commencé à produire de nouvelles feuilles vertes et saines, ne présentant aucun symptôme de toxicité pour aucun élément. Toutes les feuilles qui n'étaient pas encore complètement développées évoluèrent aussi vers une teinte verte .

Une analyse foliaire a montré que les feuilles des plantes ayant reçu 20 fois la dose normale d' oligoélément, y compris le fer, avaient de 80 à 90 mg de fer pour 100 grammes de matière sèche, alors que les feuilles des plantes alimentées normalement en avaient 50 à 60.

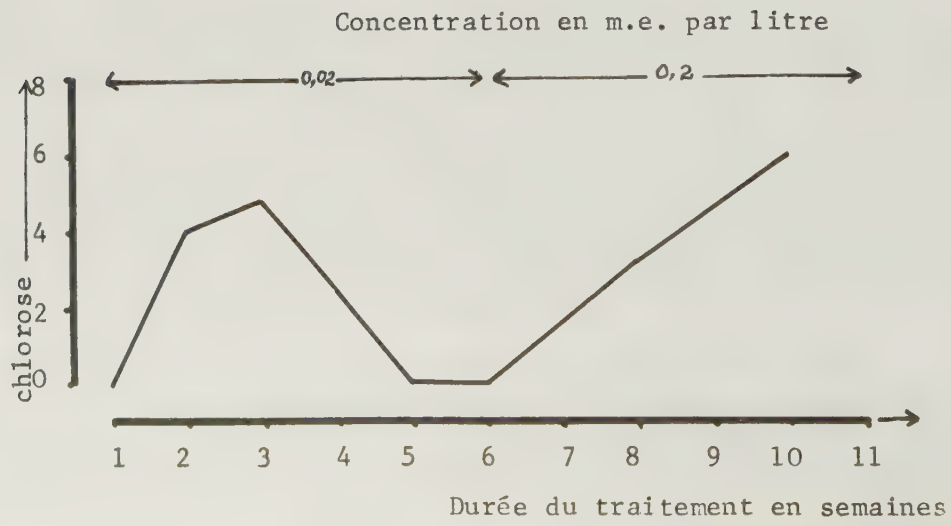
MOLYBDENE :



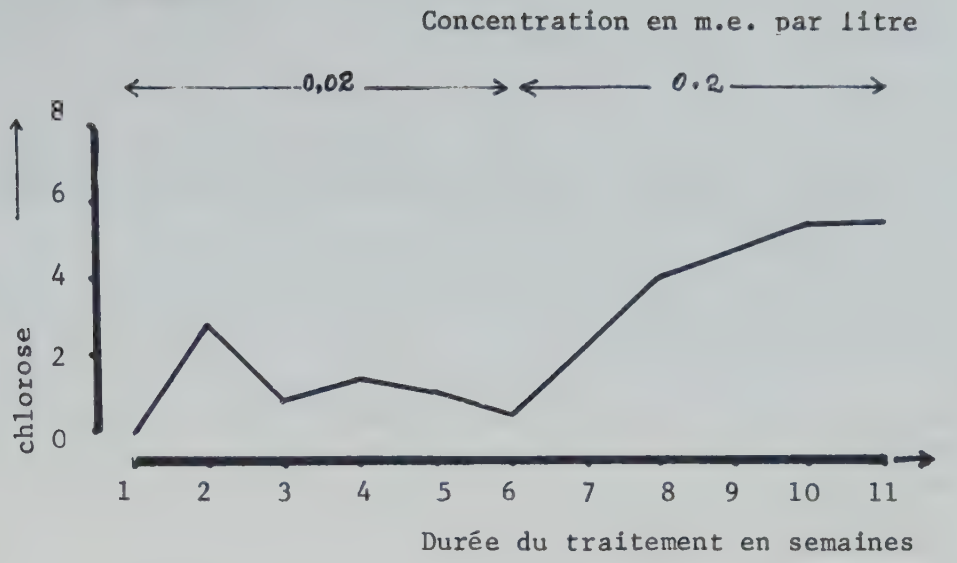
MANGANESE :



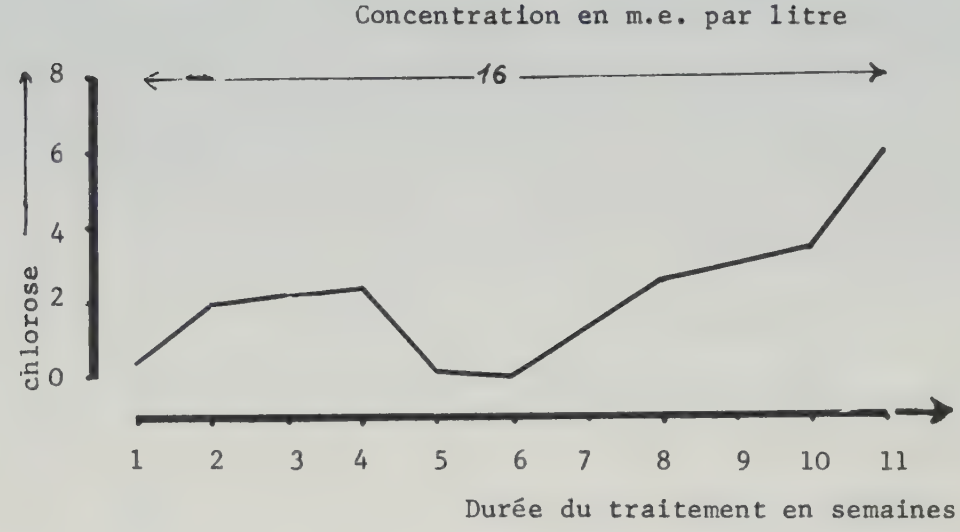
ZINC :



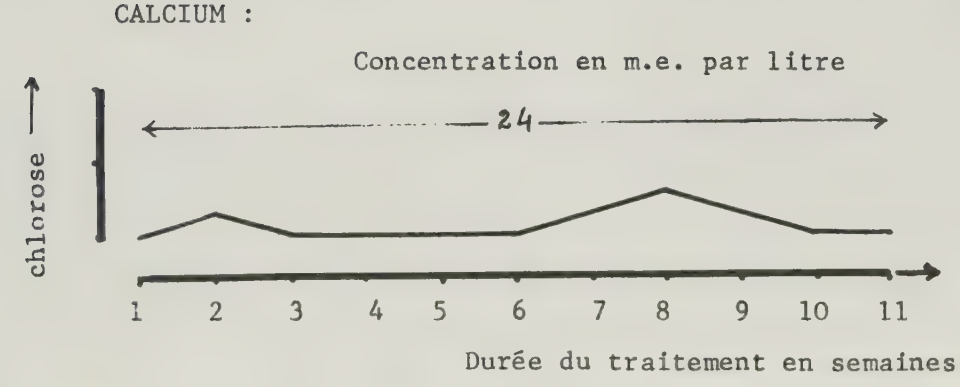
CUIVRE :



POTASSIUM :



CALCIUM :



Témoin : à voir tableaux I et II.

FIGURE 12 : Incidence d'une nutrition très riche en divers éléments sur la chlorose ferrique de jeunes pêchers GF 305.

Dans les essais suivants, nous avons essayé de déterminer quels étaient les micro-éléments capables d'induire la chlorose ferrique lorsqu'ils étaient en excès .

a) Molybdène :

Nos résultats montrent qu'une concentration en molybdène de 0,5 p. p. m. c'est-à-dire seulement 10 fois la dose classiquement utilisée dans les solutions nutritives normales, pouvait induire une toxicité pour le pêcher, sans induire la chlorose ferrique . La plante montre alors des plages de tissu vert foncé, irrégulièrement distribuées, sur un fond plus clair . Ces symptômes étaient semblables à ceux d'une carence en zinc . Ceci peut indiquer que le molybdène induit une réduction plus importante des pigments anthocyaniques que ceux de la chlorophylle . Les plants ayant montré ces symptômes ont présenté par la suite une tendance à mieux résister à cet excès de molybdène lorsqu'ils furent plus âgés . Trois mois après la plantation et le traitement avec une solution nutritive où le molybdène était en excès, les plantes ont montré une sorte de chlorose non typique de la carence en fer . Les nervures primaires et secondaires apparaissaient plus vertes que le reste des tissus du limbe et ressemblaient ainsi au symptôme de la carence en Zn .

b) Manganèse :

Une concentration de 6 p. p. m. de Mn , c'est-à-dire dix fois la dose utilisée dans une solution nutritive normale, induit de graves symptômes de chlorose ferrique . Cependant, les bords des feuilles étaient un peu plus blancs que les bords des feuilles montrant une chlorose ferrique obtenue par un manque de fer . Ces symptômes ont été supprimés en apportant du fer en abondance, c'est-à-dire une solution enrichie de la même manière en fer qu'en manganèse .

c) Zinc :

Quand des jeunes pêchers, âgés d'un mois, furent traités avec une solution nutritive contenant 0,6 p. p. m. de zinc, c'est-à-dire dix fois la dose normale, ils montrèrent une grave chlorose ferrique et nous avons constaté que l'excès de zinc était plus apte à induire une chlorose ferrique que les autres micro-éléments . Cependant, deux mois mois plus tard, les plantes redevinrent presque normales, et ceci nous conduit à penser que, comme pour le molybdène, les pêchers jeunes sont plus sensibles que lorsqu'ils sont plus âgés . A ce moment là, la concentration en zinc de la solution fut élevée à 6 p. p. m. , c'est-à-dire à 100 fois la dose normale, les pêchers montrèrent alors de nouveau des symptômes nets de chlorose ferrique .

d) Cuivre :

Les plantes traitées avec du cuivre à 0, 6 p. p. m. à l'âge d'un mois (c'est-à-dire dix fois la dose normale) montrèrent des symptômes de toxicité comparables à ceux induits par le molybdène . Ces symptômes apparurent semblables à ceux provoqués par une carence en zinc . Considérant qu'il était intéressant de poursuivre assez longtemps les observations, nous n'avons pas appliqué une correction de l'état de ces plantes par un apport de zinc et nous avons constaté que deux mois plus tard, les symptômes de la toxicité primaires disparurent et les plantes apparurent aussi normales que les témoins . A ce moment-là, la dose de cuivre fut accrue de cent fois (c'est-à-dire 6 p. p. m.) . Dans les 9 jours qui suivirent, les pêchers montrèrent une carence ferrique et un mois plus tard, ils montrèrent une sévère chlorose n'atteignant pas cependant une intensité d'indice 7 ou le stade des nécroses . Cette chlorose fut par la suite aisément corrigée par apport d'une quantité accrue de fer .

Ceci nous amène à conclure que la chlorose ferrique peut être causée par un excès de métaux lourds . On peut remarquer en plus que dans les solutions nutritives normales, l'utilisation d'une dose de 0, 6 p. p. m. de Mn au regard d'une dose de 0, 06 p. p. m. de zinc ou de cuivre est discutable . Il serait peut-être préférable de réduire de 1/10e la quantité de Mn dans la solution nutritive . De cette manière, les trois métaux lourds (ZN, Mn et Cu) apparaîtraient comme plus également toxiques lorsque la même concentration serait amenée à 100 fois celle normalement utilisée dans la solution de base .

2°- Action des éléments nutritifs majeurs et de leurs doses .

a) Potassium :

Cet élément a été étudié sous forme de chlorure, sulfate et nitrate . Il est évident que cet élément peut induire une chlorose ferrique aussi bien seul que lorsqu'il est utilisé en mauvaise proportion avec le calcium . Un accroissement de 400 pour 100 (c'est-à-dire 16 milliéquivalents au lieu de 4 milliéquivalents par litre pour une solution nutritive normale) produit des symptômes de carence en fer . Il n'y a cependant pas de réduction de croissance, ni déformation des feuilles . Des symptômes caractéristiques de carence en fer apparaissent trois mois après le début de l'expérience .

b) Sodium :

Un accroissement de cet ion dans la solution nutritive jusqu'à 16 milliéquivalents au lieu de 4, dans la solution nutritive normale, ne produit sur les jeunes pêchers aucun symptôme de chlorose ferrique. Cette observation est en accord avec celles d'autres chercheurs .

c) Phosphore :

Il peut être étonnant que des quantités importantes de phosphore appliquées sous forme mono- ou disodique, n'aient pas induit des symptômes typiques de carence ferrique . Les feuilles furent petites, extrêmement réduites, jaunâtres, mal formées et la hauteur de la tige fut très réduite . Quelques taches de tissu vert foncé se détachèrent sur un fond uniformément jaunâtre . Ces symptômes étaient liés à une carence en Zn et peut être en autres microéléments . Les doses essayées, ont été de 12 à 16 milliéquivalents au lieu de 4, dans la solution nutritive normale . Il est probable qu'une plus petite augmentation de phosphore, qui ne provoquerait pas une carence pour tous les cations (les métaux lourds en particulier) pourrait provoquer une chlorose ferrique . Dans les champs, l' effet du phosphore est plus indirect que direct et il paraît être lié à son action sur le carbonate de calcium du sol et sur le fer dans ses formes solubles dans l'eau .

d) Chlorure :

Le chlore à une concentration de 8 milliéquivalents appliquée aussi bien avec du calcium, du potassium ou du sodium produit des dégâts sur la plante par brûlure des feuilles . Les feuilles ont un aspect jaunâtre , mais ne présentent pas de symptômes de chlorose ferrique .

e) Sulfate :

A des concentrations aussi élevées que 20 milliéquivalents, les ions sulfate n'induisent aucun symptôme gênant la croissance de la plante . Puisque tout accroissement d'un anion SO^{--}_4 conduit à un accroissement correspondant de cations, l'étude d'autres concentrations de cet ion sulfate a été abandonnée .

f) Azote :

Les nitrates semblent induire un léger accroissement de la chlorose ferrique . Deux solutions nutritives ont été utilisées avec une teneur de 8 milliéquivalents d'azote par litre de solution, une avec $(NH_4)_2SO_4$ et l'autre avec $NaNO_3$ (dans ces solutions la concentration en fer utilisée fut de 1 p. p. m. de séquestrène au lieu de 5 utilisé dans la solution normale).

Ces deux solutions furent appliquées à des jeunes pêchers GF 305 âgés de un mois d'une part et de un an d'autre part, dans 4 bacs "Riviéra" de 35 l. Pour les plantes des deux âges, l'azote sous forme de nitrate a provoqué un peu plus de chlorose ferrique .

Il faut remarquer que cette petite différence peut avoir une grande importance dans la pratique en raison du fait que beaucoup de sols ont une concentration limite de fer utilisable pour les plantes .

D'autre part, les bénéfices escomptés par la fertilisation azotée peuvent être réduits par l'apparition d'une carence ferrique . On doit remarquer aussi que les différences de chlorose ferrique très nettes au début de l'expérience, disparurent trois mois plus tard et à ce moment, tous les plants présentaient une chlorose de même intensité . Cette disparition des différences dans l'intensité de la chlorose ferrique induite par un excès d'azote est difficile à expliquer et nécessitera d'autres études .

g) Bicarbonate .

Dans un essai de jeunes plants de pêcher GF 305 d'un an, cultivés dans des pots de terre d'une capacité de deux litres , contenant trois types de sols :

sol calcaire des Charentes
sol argileux de la Grande Ferrade
mélange de terreau et de sable ,

ont été arrosés début avril avec de l'eau contenant de 4 à 16 milliéquivalents de bicarbonate de potassium . Contrairement à ce que l'on pouvait attendre, aucun plant ne montra des symptômes de chlorose, mais ils arrêtèrent complètement leur croissance et ceci, avec toutes les doses de bicarbonate appliquées .

Cette expérience a été répétée une seconde fois sur des pêchers cultivés sur graviers dans des bacs de 35 litres et alimentés préalablement avec une solution nutritive normale . Des concentrations de 0, 2, 4, 8 et 12 milliéquivalents de bicarbonate par litre de solution , sous forme de $NaHCO_3$ ont été appliquées à différents bacs. Ces concentrations ont toutes été réduites de moitié quinze jours après le début du traitement parce que les chloroses induites par les concentrations de 8 à 12 m.e. de HCO^-_3 se révélèrent excessives .

Nous avons, dans cet essai, observé une relation directe entre la concentration de bicarbonate appliquée et l'intensité de la chlorose ferrique obtenue chez les jeunes pêchers (Figure n°13) .

Le mauvais état des racines et les conditions de croissance dans le premier essai, expliqueraient l'arrêt de croissance induit par l'ion bicarbonate .

h) Calcium :

Dans un bac de 35 litres, des plants de pêchers cultivés sur graviers furent traités avec une solution nutritive contenant 24 m.e. par litre d'ions calcium, au lieu de 8 dans la solution normale utilisée préalablement ou comme témoin . Le calcium fut apporté sous forme d'un mélange équimoléculaire de $CaNO_3$ et $CaCl_2$, de façon à éviter une concentration excessive d'aucun des deux anions NO_3 et Cl_2 .

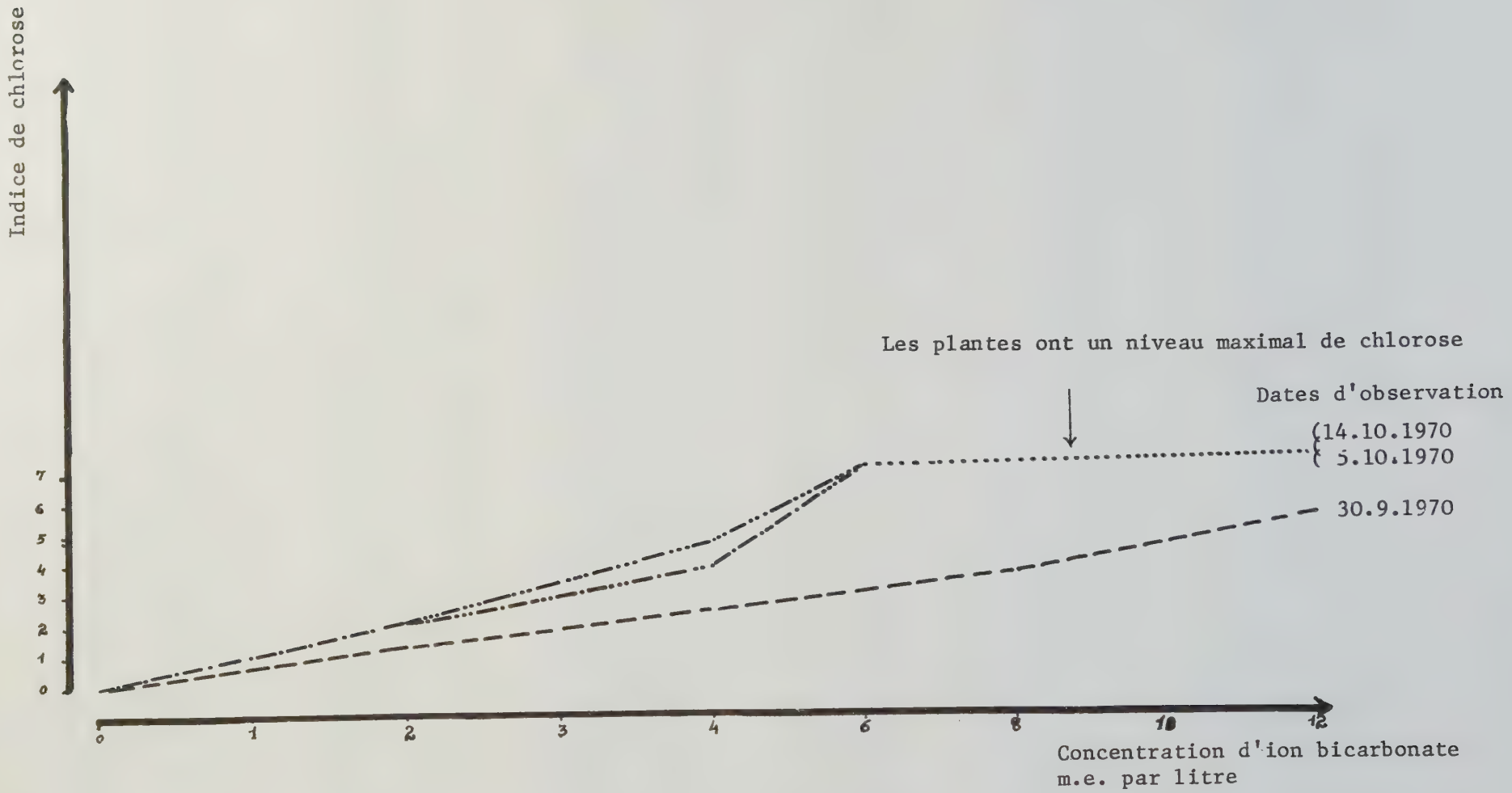


FIGURE 13 : Evolution de la chlorose chez les pêchers GF 305 à la suite de leur traitement avec les solutions nutritives contenant diverses concentrations d'ion bicarbonate.

Pendant trois mois, la croissance des plants ne montra absolument aucun symptôme de chlorose ferrique et ceux-ci étaient au contraire particulièrement verts sauf quelques plants qui montraient à leur base un jaunissement des feuilles dû probablement à une accumulation de chlore . Cependant, les plants furent rendus très nains par ce traitement .

C - EXPLICATION POSSIBLE DU ROLE DU CALCAIRE DANS L'INDUCTION DE LA CHLOROSE FERRIQUE DANS LES CONDITIONS DU VERGER .

Deux faits doivent être considérés :

a) Dans nos solutions nutritives, nous avons toujours appliqué un minimum de 8 mEq par litre de Ca^{++} et nous avons montré que même 24 mEq n'étaient pas toxiques .

b) Par contre, une dose de 1 mEq par litre de HCO_3^- peut provoquer la chlorose ferrique .

Autrement dit, ces plantes sont excessivement sensibles au bicarbonate alors qu'elles ont besoin de quantités comparativement beaucoup plus importantes de Ca^{++} .

Ainsi dans la nature, quand $CaCO_3$ est hydrolysé en Ca^{++} et HCO_3^- , l'excès de Ca^{++} est à peine au-dessus du besoin maximum de la plante et cet "excès" dans certains cas est peut-être même utile à la croissance de la plante . Mais c'est CHO_3^- qui est non seulement sans utilité pour la plante, mais aussi très toxique . La tolérance de la plante pour cet ion étant extrêmement faible .

Certains rapports conduisent à penser que le calcium peut réduire la pénétration du fer . Cependant, durant l'hydrolyse du carbonate de calcium, la quantité de calcium libéré est si faible que celui-ci ne peut influencer beaucoup la pénétration du fer, alors que la libération corrélative de HCO_3^- est suffisamment importante pour être toxique et interférer avec la nutrition ferrique des plantes .

Ainsi, nous pouvons conclure, restant en accord avec quelques autres chercheurs, que dans les sols calcaires, c'est HCO_3^- qui cause la chlorose ferrique .

D - ROLE DE DIFFERENTES VIROSES .

Quelques auteurs ont signalé que des plantes atteintes de maladies à virus et chlorotiques de ce fait, ne présentaient pas d'amélioration de leur état par application de chelate de fer ou de sels de zinc . C'est la raison pour laquelle nous avons entrepris deux expériences pour étudier l'effet d'une inoculation virale sur deux lignées de pêchers, respectivement GF 305 et G_1 S 2576-5 . Les plantes inoculées et témoins sont nourries par la solution nutritive pauvre en fer, ce qui provoque l'apparition des symptômes de carence ferrique . Nous avons tenté de voir si les virus inoculés augmentent ou diminuent l'importance des symptômes de carence en fer .

Dans une première expérience, les pêchers GF 305 furent cultivés en bac Riviéra de 35 litres jusqu'à l'âge de 15 semaines . Le 7 Février 1969, ces plantes furent inoculées selon une technique qui consiste à appliquer sur le bois partiellement écorcé deux fragments d'écorce, sans bourgeons, provenant d'une plante virosée . Le virus utilisé est (Necrotic ring spot virus-NRSV) souche peu virulante G A12) . Les observations ont duré jusqu'au mois d'Août 1970, soit 18 mois .

L'étude du tableau VIII montre que cette souche virale est, dans nos conditions culturales, sans effet sur cette lignée . Sachant que certaines lignées peuvent extérioriser des symptômes alors que d'autres n'en présentent pas, nous avons fait une deuxième expérience en bacs 500 et 250, avec les lignées de pêchers S 2576-5 et GF 305 et trois viroses différentes :

1°- NRSV, n° V566 souche virulente et pure ,

2°- P 863, cet inoculum contient le "Bark slit virus" (BSV) et probablement aussi le "chlorotic leaf spot virus" (MARENAUD, communication personnelle)

3°- Enroulement chlorotique du pêcher . Cet inoculum contient le "Prune dwarf virus" (P. D. V.) le CLSV, et sans doute quelques autres (MARENAUD) .

Les semis de pêchers furent faits le 10 Juin 1969, l'inoculation des plantes a été faite deux mois plus tard, les observations durèrent un an, puis les plants furent prélevés . On mesura alors la longueur et la largeur des feuilles, le poids des feuilles, tiges, racines , etc ....

En ce qui concerne les symptômes visibles, seul l'inoculum V566 de NRSV a montré des symptômes marqués : nécroses de la nervure médiane, conduisant à une distorsion de la feuille, débourrement plus tardif des bourgeons au printemps suivant . Une étude biométrique nous a montré qu'avec ce même inocculum la croissance des plants était réduite par rapport au témoin, la largeur des feuilles, leur poids, le poids de la tige et des racines sont également réduits par rapport au témoin et cela chez les deux lignées . Le bark split P 863 réagit plus sur la lignée G_1S 2576-5 que sur la lignée 305 (voir tableau) .

Cependant, aucune des viroses étudiées, y compris le NRSV, V566, n'ont modifié de façon importante la chlorose induite par une nutrition ferrique carencée .

Tableau VIII

Croissance, dimension des feuilles et indice de chlorose des pêchers inoculés avec N.R.S. à l'âge de 4 mois. Les observations sont faites 5 mois après l'inoculation (moyenne de 32 répétitions).

Plante	*Indice de chlorose*	*Hauter en cm*	*Longueur des feuilles*	*Largeur des feuilles*
Virosée	1,41	95,3	207 mm	39,8 mm
Non virosée	1,48	94,1	211 mm	41,00 mm

Tableau IX

Croissances et caractéristiques de deux lignées de pêchers GF 305 et G1S 2576-5 inoculées avec trois viroses v.566, P 863 et enroulement chlorotique (EC) à l'âge de 3 mois. Moyenne de 12 répétitions.

	Virose	Indice de chlorose		Hauteur des plantes	feuilles		Poids des feuilles	Poids frais des tiges	Poids frais des racines
		23.3.70	28.5.70		largeur en mm	longueur en mm			
GF 305	V 566	3,0	3,8	143	44,7	177	18,3	33,7	12,1
	P 863	3,8	3,7	154	43,7	204	35,0	38,3	16,5
	E.C.	2,8	3,8	160	44,5	109	28,5	43,7	16,7
	Témoin	3,5	3,0	158	43,2	108	32,3	41,2	13,9
S 2576-5	V 566	2,5	3,2	156	42,6	192	35,20	55,7	12,26
	P 863	3,7	4,2	162	41,7	224	36,00	36,7	13,46
	E.C.	3,2	3,5	172	41,8	200	43,20	51,8	15,40
	Témoin	4,0	3,0	172	41,5	227	47,00	61,0	17,60

Discussion :

Les inoculations réalisées bien qu'effectives (modifications significatives pour les arbres inoculés avec V566 et P863) n'ont pas eu une répercussion très importante sur la croissance des arbres . Ceci peut être rattaché soit aux conditions de température relativement élevée de la serre ou étaient placés les arbres (20 à 30°), soit aux conditions de la culture hydroponique (nutrition régulière et abondante).

D'autre part, la présence de ces viroses n'a pas entraîné une augmentation ou une réduction de la sensibilité à la chlorose due à la déficience en fer .

E - DEVELOPPEMENT DE LA CHLOROSE FERRIQUE EN SOL CALCAIRE .

La chlorose ferrique en sol calcaire est bien connue et a été maintes fois décrite chez la vigne, les Citrus et le pêcher .

Dans les sols qui ne sont pas trop chlorosants, la chlorose peut n'apparaître qu'au bout de quelques années, elle ne se manifeste généralement pas au printemps au moment du développement des premières feuilles . Les symptômes de la chlorose s'aggravent au cours des saisons particulièrement pluvieuses . Nos observations rapportées précédemment nous conduisent à penser que cette chlorose provient d'une alimentation en fer se situant très légèrement en dessous d' une teneur limite de fer utilisable par les racines .

Toutes les variations pouvant agir sur l'utilisation du fer par les racines provoquent suivant les cas, l'apparition ou la disparition de la chlorose , par exemple :

- la libération des ions bicarbonates par divers facteurs, comme l'humidité ,
- les variations de la teneur en phosphore assimilable ,
- les excès de cathions de métaux lourds (cuivre)
- un déséquilibre du rapport calcium/potassium .

CHAPITRE IV

DIFFERENCES DE COMPORTEMENT A LA CHLOROSE PROVOQUEES PAR UNE CARENCE EN FER CHEZ DIFFERENTES LIGNEES DE PECHERS ET CLONES D'HYBRIDES PECHERS-AMANDIERS

Le matériel végétal utilisé dans ces essais est le suivant :

a) Pêchers :

G_2S 2576-3 : Lignée originaire des Charentes (cultivée non greffée en sol très calcaire . Ne chlorose pas) .

G_2S 2575-1 : Idem

G_1S 2543 : Lignée originaire du Japon (Matsuyama), très homozygote .

G_1S 2541-3 : Lignée originaire du Japon (Matsuyama), ayant une morphologie proche de celle du Nemaguard .

G_1S 2811 : Nemaguard : sélection américaine d'origine incertaine, résistant aux némathodes : M. javanica et M. incognito.

G_1F 305-1 : Lignée homozygote d'origine française .

G_1S 300 : Lignée à chair jaune originaire du Lot-et-Garonne, multipliée par semis, résisterait un peu mieux à l'asphyxie des racines .

F_3 (749x1490) 1-7 : Hybride de 3ème génération entre la variété de pêchers S-749 (japan golden giant cling) et S-1490 (variété de Prunus kausuensis) .

b) Hybrides pêchers-amandiers :

F_1 (R210xS 305) : Hybride F_1 entre l'amandier Cristomorto (R210)et le pêcher GF 305 vigoureux .

GF 557 : Hybride F_1 entre un amandier local et le pêcher Shalil S557 (Pakistan) résistant à certains nématodes .

F_1(R61xS1365) : Hybride F_1 entre l'amandier Ardéchoise (R-61) et le pêcher Shalil (Pakistan) S1365 .

GF 677 : Hybride F_1 Naturel amandier x pêcher

F_1 (R18xS1847) : Hybride F_1 entre l'amandier Aï (R181) et le pêcher à feuilles pourpres (S1847) .

Les lignées de pêchers et les porte-greffes obtenus par multiplication végétative sont plus ou moins sensibles à la chlorose .

Nous avons essayé d'éprouver leur sensibilité relative en culture hydroponique réalisée en serre .

A - COMPORTEMENT DE DIFFERENTES LIGNEES ET CLONES COMPARATIVEMENT A LA LIGNEE TEMOIN GF 305 EN CULTURE HYDROPONIQUE .

Nous divisons ce travail en deux parties : la première concerne les études sur les lignées issues de semis, la deuxième sur des porte-greffes de pêchers obtenus par multiplication végétative .

1°- Lignées de pêchers .

a) Dans un premier essai, nous avons comparé trois lignées en les cultivant dans des conditions comparables à trois niveaux de nutrition en fer , il s'agit des lignées : GF 305, G_1S 300 et Nemaguard (G_1S 2811) .

Le tableau X montre que la lignée GF 305 apparaît dans cet essai comme la moins chlorosée et la lignée Némaguard comme la plus sensible, la lignée G_1S 300 se montrant intermédiaire . Les lignées GF 305 et Némaguard, se montrent plus homogènes en ce qui concerne la réponse individuelle de chaque plant envers la chlorose (ceci correspond bien à ce que l'on sait de leur pureté génétique) .

1ers essais trois lignées
GF 305, Nemaguard et G_1S 300

2èmes essais
G_2S 2576-3, G_1S 2575-1, G_1S 2543, G_1S 2541-3 et GF 305 (témoin)
(x) : les plantes de la lignée G_1S 2543

FIGURE 14 : Sensibilité différente à la chlorose ferrique de plusieurs lignées de pêchers.

Tableau X

Comparaison de 3 lignées de pêchers âgés de 1 an pour leur sensibilité à la chlorose. Indice de chlorose.

Lignée	*Indices à diverses dates d'observation (sommation pour 12 plantes)*							
	29.6.68	*22.8.68*	*29.8.68*	*6.9.68*	*16.9.68*	*26.9.68*	*6.10.68*	*16.10.68*
G_1S 2811 (Nemaguard)	12	22	18	22	32	57	38	36
G_1S 300	0	8	7	17	24	51	35	28
GF 305	0	0	2	15	20	43	27	24

A la fin de l'essai GF 305 continuait de s'accroître aussi bien dans les traitements où le fer était à l'état de traces que dans celui où il était en abondance . Par contre G_1S 300 avait arrêté sa croissance dans toutes les séries trois semaines avant la fin de l'essai (16-10-1968) Némaguard, qui est plus sensible à la chlorose que G_1S 300 continuait de s'accroître dans les séries où le fer était abondant, mais avait arrêté se croissance dans celles où le fer était insuffisant . Ainsi nous voyons que l'arrêt de la croissance est un phénomène qui est réglé par deux facteurs : le caractère génétique de la lignée et d'autre part, l'alimentation . Ceci explique que l'arrêt de croissance n'est pas toujours lié à l'intensité de la chlorose .

Dans un bac, on a brusquement supprimé le fer dans la solution nutritive après une alimentation abondante en cet élément pendant deux mois et demi, on a alors constaté que Némaguard a été le premier à manifester une apparition de chlorose .

En ce qui concerne la croissance en hauteur des plants, les différences observées pour les diverses teneurs en fer se sont montrées plus régulièrement échelonnées pour GF 305 que pour les deux autres lignées .

Ces résultats semblant être parallèles aux observations réalisées avec ce même matériel en milieu chlorosant naturel, nous avons procédé à d'autres essais systématiques .

b) Dans un second essai, nous avons cherché à classer 5 lignées en ce qui concerne leur sensibilité à la chlorose (voir tableaux XI et XII) .

Dans les premiers temps, les jeunes plants disposés au hasard, dans des bacs de 500 et 250 ont été alimentés avec une solution nutritive à 10 p. p. m. de séquestrène de fer dans le but d'obtenir une bonne croissance : après deux mois et demi, on a diminué la dose de fer à 1 p. p. m. et observé régulièrement l'apparition et le développement de la chlorose .

Quand celle-ci a eu tendance à trop se généraliser, on a réalimenté les arbres en fer (10 p. p. m.) puis, après reverdissement, on a de nouveau carencé à 1 p. p. m. pour recommencer les observations . Cette technique a été appliquée deux fois .

Le but était de savoir si le choc physiologique occasionné par la chlorose pouvait changer le comportement des lignées . En fait, elles ont réagi de la même façon chaque fois (tableaux XI et XII) .

On constate que la lignée G_1S 2543 se montre nettement plus sensible que la lignée GF 305 et que la lignée G_2S 2575-1 se montre nettement plus résistante .

c) Dans cet essai, nous avons comparé les mêmes lignées avec une méthode similaire où les arbres n'ont pas été maintenus à un niveau de chlorose aussi intense (tableaux XI et XII). On constate d'une façon générale le même comportement que dans l'essai précédent .

En conclusion de ces essais : 4 lignées apparaissent plus sensibles que GF 305, 1 lignée plus résistante et 1 équivalente .

Tableau XI :

Comparaison de 5 lignées de pêchers soumises à deux niveaux de carence en fer (sommation des indices pour toute la saison : 6 répétitions).

Lignées	*2576-5*	*2575-1*	*GF305-1*	*2541*	*2543*
Très carencé	278	325	344	370	467
Carencé	132	145	184	195	270
Classement suivant la résistance	1er	2e	3e	4e	5e
p.p.d.s. à p.5% 29 à p.1% 35					

Tableau XII :

Comparaison de 5 lignées de pêchers pour leur sensibilité à la chlorose. Indice de la chlorose (sommation pour 6 plants) à la suite de leur traitement avec une solution nutritive plus ou moins carencée en fer.

Dose de séq. de fer		*1 p.p.m.*		*10 p.p.m.*	*1 p.p.m.*		*Indice*
Date d'observation		*11.9.69*	*26.9.69*	*du 23.3.70 au 13.4.70*	*23.4.70*	*30.4.70*	*totalisé*
Lignées	2575 - 1	8	17	0	4	18	47
	1576 - 1	11	19	0	4	20	54
	GF 305	13	20	0	4	20	57
	2541 - 3	15	20	0	10	26	71
	2543	21	29	0	21	30	101
p.p.d.s.à p. 5%							9,3
à p. 1%							17

2°- Clônes d'hydrides pêcher x amandier .

a) Deux clônes GF 677 et GF 557, ont déjà été sélectionnés pour diverses performances, dont une meilleure résistance à la chlorose que les semis de pêchers lorsqu'on les utilise comme porte-greffes du pêcher . Ces clônes, ainsi que des amandiers, des séries de Prunier St Julien et des pêchers, ont été cultivés sur gravier avec une solution nutritive carencée en fer, on a fait ainsi apparaître une chlorose dont l'intensité a été exprimée périodiquement pour une note individuelle dont on a fait la moyenne .

Le tableau XIII indique le résultat de ces observations :

- on constate que les notes des hybrides pêcher x amandier se situent de façon intermédiaire entre celles de l'amandier et du pêcher (ces hybrides étant tous de première génération) .
- on remarque en outre :
  que le clône GF 677 semble un peu plus résistant à la chlorose que le clône GF 557 . Ces résultats se retrouvent dans une autre expérience (tableau XIV) .

b) D'autres hybrides ont été comparés à ces deux précédents et au pêcher dans une expérience du même type . Il s'agissait des hybrides suivants, multipliés végétativement, classés suivant une résistance croissante (voir tableau XIII) :

F_1 (R61 x S 1365)	: F_1 amandier Ardéchoise par pêcher Shalil
F_1 (R210 x GF 305)	: F_1 amandier Cristomorto par pêcher GF 305
GF 557	: F_1 amandier sauvage R_1 par pêcher Shalil
F_1 (21 x 46)	: F_1 amandier sauvage R_1 par pêcher Shalil
GF 677	: F_1 naturel pêcher x amandier .
F_3 (S749 x S1490) 1-7	Pêcher Japan Golden giant cling x Prunus kausuensis (clône isolé dans un semis F_3 de cet hybride) .

Ces différents hybrides là aussi se montrent beaucoup plus résistants que les pêchers GF 305 .

3°- Variabilité des résultats .

Il faut remarquer que la variabilité individuelle reste élevée entre les boutures d'un même clône, ainsi que chez les plants greffés (tableau XXV , page 138) .

Tableau XIII :

Indices moyens de chlorose de différents hybrides cultivés avec une même solution nutritive carencée en fer. Observation à diverses dates.

Date d'observation		Pêchers GF. 305 témoin	*HYBRIDE PECHERS x AMANDIERS*					Hybride 749 x 1480
			61 x 1365	210 x 305	GF. 557	21 x 96	677	
12.5	Indice de chlorose (I.C.)	4,4	1,7	1,4	1,4	1,0	0	0
	Nombre de plantes (répétitions)	8	4	6	8	6	8	8
27.5	I.C.	5,0	2,0	1,8	1,1	1,0	1,0	0,5
	Nb. de répét.	8	4	5	7	5	8	6
10.6	I.C.	3,3	1,0	0,8	0,9	0,3	0,3	0,2
	Nb. de répét.	8	4	5	7	5	8	6
24.6	I.C.	4,3	2,1	1,9	1,1	0,8	0,3	0,1
	Nb. de répét.	8	4	5	7	5	6	5
6.7	I.C.	4,3	2,7	2,3	1,6	1,3	1,0	0,5
	Nb. de répét.	8	4	5	7	5	6	5
22.7	I.C.	7,0	4,5	4,0	4,0	3,5	2,5	3,0
	Nb. de répét.	8	4	5	7	5	6	6
5.8.	I.C.	0	0	0	0	0	0	0
	Nb. de répét.	7	3	4	7	5	6	6
19.8	I.C.	3,0	0,5	1,0	0	0	0	0
	Nb. de répét.	7	3	4	7	5	7	6
3.9	I.C.	6,0	2,7	2,0	0,6	0,7	0,3	0,3
	Nb. de répét.	7	3	4	7	4	7	5
17.9	I.C.	6,5	2,7	2,5	2,6	1,3	0,5	0,5
	Nb. de répét.	7	3	4	7	4	7	5
1.10	I.C.	7,0	4,0	3,0	3,0	2,0	1,5	2,0
	Nb. de répét.	7	3	4	6	4	7	5
	Indice global pour toute la saison p.p.d.s. à p.5% 7,9 àp.1% 10,6	51	24	22	16	12	1,4	7,1

- *Toutes les plantes montrant un arrêt ou ralentissement de croissance sont exclues des observations.*

Tableau XIV :

Indices moyens de chlorose de différents Prunus cultivés avec une même solution nutritive carencée en fer. Observations à diverses dates.

Date de l'Observation		Pêchers GF. 305	*PECHERS x AMANDIERS*			Amandiers R. 210	Prunier St-Julien n°1
			GF. 557	21 - 46	GF. 677		
10.6	Indice de chlorose (I.C.)	4.0	1.1	0.5.	1.0	0.6	0.4
	Nombre de répétitions	6	8	4	8	7	9
17.7	I.C.	0	0	0	0	0	0
	Nb. de répét.	6	8	4	8	7	9
24.7	I.C.	0.8	0.9	1.0	0.3	0.1	0.7
	Nb. de répét.	6	7	4	8	7	8
1.8	I.C.	2.3	1.4.	1.3	0.8	0.5	0.0.
	Nb. de répét.	6	7	3	6	8	6
8.8.	I.C.	3.3	1.8.	1.3	1.6	0.4	0.0
	Nb. de répét.	6	6	3	8	7	6
15.8	I.C.	4.3.	2.7	1.3	2.3	0.9	0.3
	Nb. de répét.	6	6	3	6	7	6
22.8	I.C.	4.8.	2.3	1.7	1.0	0.6	0.0
	Nb. de répét.	4	9	3	5	7	5
29.8	I.C.	2.1	1.7	1.0.	0.5	0.3	0.0
	Nb. de répét.	5	3	3	2	6	3
12.9.	I.C.	7.0	3.1	3.0	2.5	2.2	1.8
	Nb. de répét.	6	5	3	6	6	4
	Indice global pour toute la saison p.p.d.s. à p.5% 6,9 à p.1% 9,3	29	15	11	10	5.6	2.6

- *Toutes les plantes montrant un arrêt ou ralentissement de croissance sont exclues des observations.*

Exemple de variabilité des notes individuelles à deux dates :

Date d'observation	*Porte greffe*	*P l a n t e s*							
		1ère	*2ème*	*3ème*	*4ème*	*5ème*	*6ème*	*7ème*	*8ème*
10/6	GF 677	2	0	1	1	2	1	0	1
	GF 557	1	1	1	1	2	1	0	0
	GF 305	4	5	2	5	4	4	-	-
12/6	GF 677	2	3	3	3	2	2	-	-
	GF 557	3	3	2	5	3	-	-	-
	GF 305	8	8	8	8	8	7	-	-

Cette variabilité importante chez les plants multipliés par bouture est probablement à rattacher à l'importance et à la nature de leur enracinement .

R e m a r q u e : Le clône 21x46 est particulièrement difficile à faire pousser en culture sur gravier . Le clône 61x1365 supporte mal la transplantation en culture sur gravier .

4°- A u t r e s e s p è c e s p o r t e - g r e f f e s d u p ê c h e r .

L'amandier (R 210) et le prunier St Julien hybride n°1 se sont montrés dans nos essais beaucoup plus résistants à la chlorose induite par carence en fer de la solution nutritive que les pêchers de semis (tableau XIV) .

On remarquera que les semis d'amandiers ne semblent pas plus résistants dans nos conditions d'essais que ceux de prunier .

A noter que les hybrides F_3 (S749 x S1496) 1-7, F_1 (R210 x GF 305) et F_1 B61 x S 1365 se sont montrés tous nettement plus résistants à la chlorose que le pêcher GF 305, cependant, en raison des difficultés techniques (reprise à la plantation et croissance irrégulière, nous n'osons pas les classer les uns par rapport aux autres .

Il est intéressant de remarquer que la plupart des lignées de pêchers originaires du Japon se montrent dans nos essais sensibles à la chlorose et que les lignées provenant d'une région très calcaire des Charentes se montrent au contraire plus résistants .

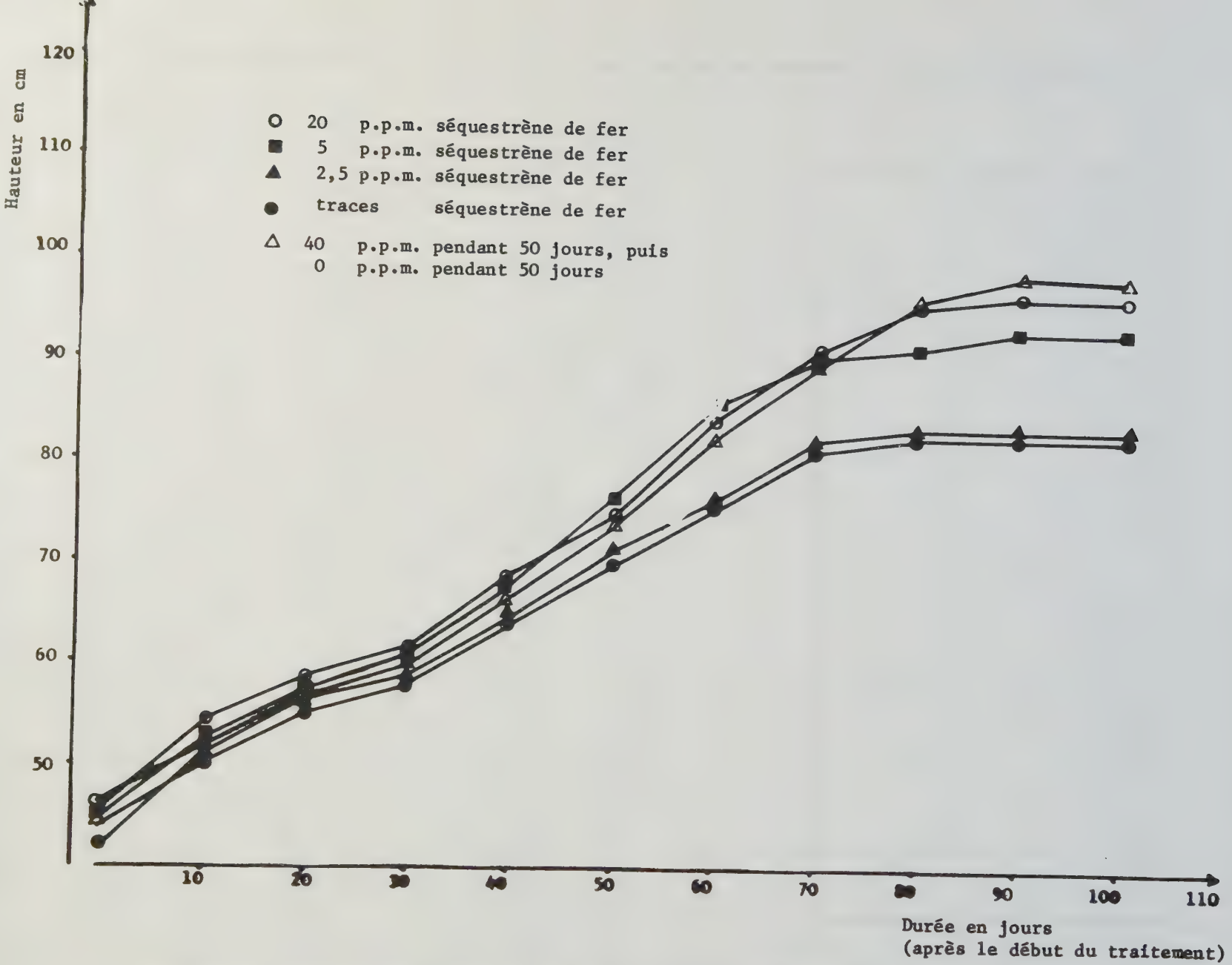


FIGURE 15 : Evolution de la hauteur de pêcher G_1S 300 alimentés par des solutions nutritives ayant 5 doses de fer

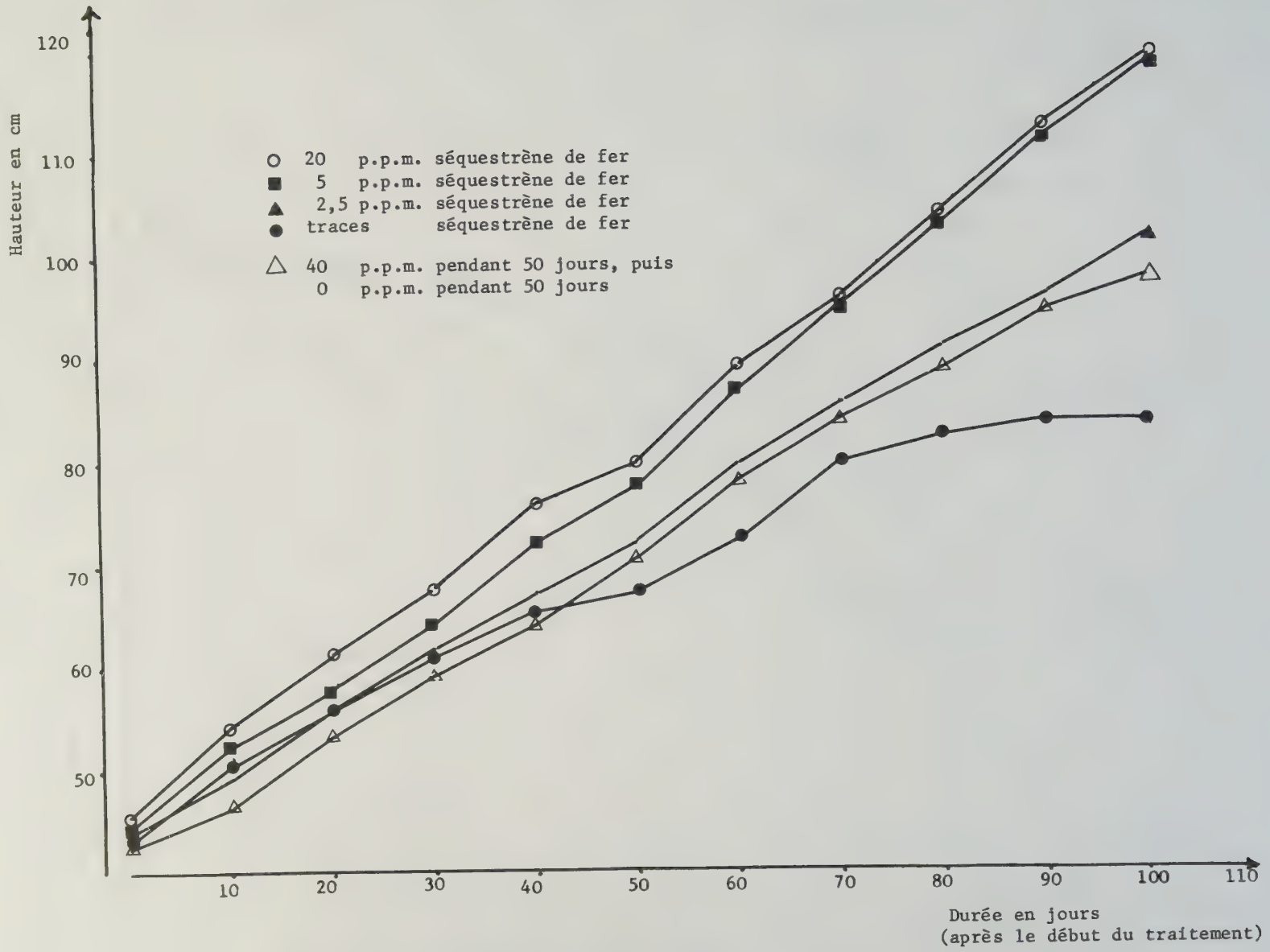


FIGURE 16 : Evolution de la hauteur de pêchers G_1S 2811-(Nemaquard) alimentés par des solutions nutritives ayant 5 doses de séquestrène de fer.

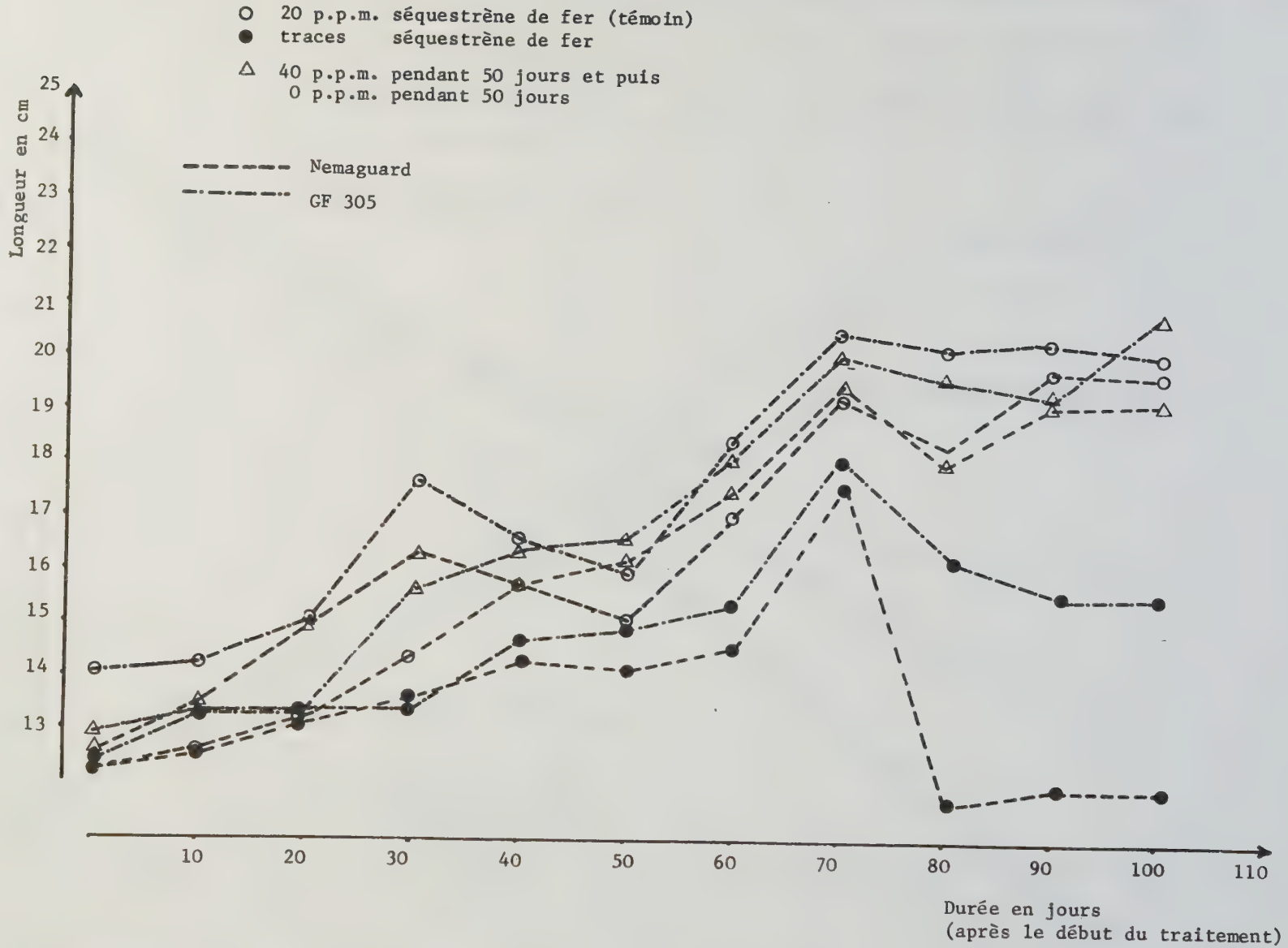


FIGURE 17 : Evolution de la longueur des nouvelles feuilles (complètement développées) de deux lignées de pêchers, l'un susceptible (Nemaguard), et l'autre résistant à la chlorose (GF 305), alimentés par une solution nutritive ayant 3 doses de fer.

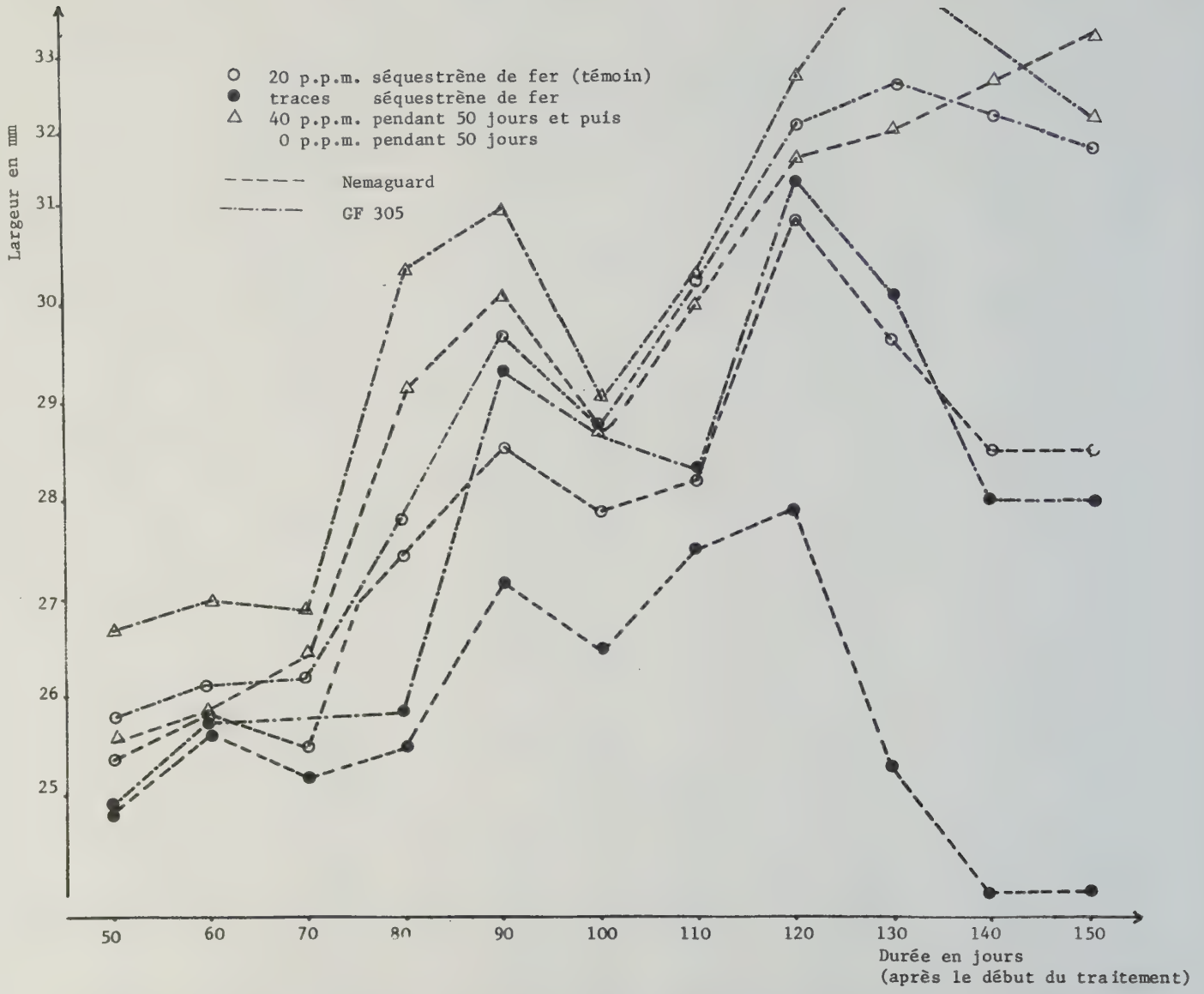


FIGURE 18 : Evolution de la largeur des nouvelles feuilles (complètement développées) de deux lignées de pêchers, un sensible (Nemaguard) et l'autre résistant (GF 305) alimentés par une solution nutritive ayant 3 doses de séquestrène de fer.

B - COMPORTEMENT EN SOLS CHLOROSANTS DES LIGNEES ET CLONES ETUDIES .

D'une façon générale, nous constatons un bon parallélisme entre nos observations concernant la sensibilité des diverses sélections à la chlorose induite par une carence en fer et le comportement de ces sélections dans les conditions naturelles chlorosantes . Nous devons considérer différemment les observations réalisées sur des sélections non greffées et celles faites sur ces mêmes sélections greffées .

a) Sélections non greffées .

Les lignées de pêchers G_1S 2540 et 2544, originaires du Japon (voisines des lignées G_1S 2543 et 2541 notées sensibles dans nos essais) se sont montrées particulièrement sensibles à la chlorose dans des pépinières à pH élevé (7, 5-8) après un été pluvieux (1968) (l'Ile d'Arcins , pépinière de la station d'arboriculture fruitière de La Grande Ferrade) . La lignée Némaguard, déjà assez expérimentée en France, s'est révélée plus sensible à la chlorose que les semis généralement utilisés (pêcher sauvage de Yougoslavie) chez plusieurs pépiniéristes et arboriculteurs .

Dans un sol chlorosant des Alpes-Maritimes, SCOTTO de la MASSES (1970) a effectué les notations suivantes dans un essai comparatif rigoureux et avec de jeunes plants non greffés (voir tableau XV). On constate que les lignées Némaguard et G_2S 2544-1 sont plus sensibles que la lignée GF 305, ce qui correspond bien à nos observations en milieu carencé en fer .

Tableau XV

Sommes des notes d'intensité de chlorose et pourcentage de plants chlorosés pour trois lignées de pêcher et un clône d'hybride pêcher x amandier cultivées en sol chlorosant des Alpes Maritimes (d'après SCOTTO de la MASSES) (4 répétitions de 5 plants par porte-greffe).

	Intensité de la chlorose	*Pour 100 plants chlorosés*
GF 305	15,2	14,3
G_2S 2544-1	49,75	34,3
NEMAGUARD	65,75	43,1
GF 677	0,0	0,0
	0 = pas chlorosé 5 = très chlorosé	

Il est bien connu que la plupart des hybrides (en particulier GF 577 et 677), pêchersx amandiers F_1 végétant non greffés dans des sols chlorosants, montrent une résistance remarquable à la chlorose très supérieure à celle du pêcher .

b) Cas des plantes greffées par une variété de pêchers .

D'une façon générale, lorsque l'on greffe des pêchers sur des porte-greffes résistants à la chlorose, on constate que la résistance du porte-greffe ne se transmet pas intégralement à la variété ou à l'espèce greffée . Cependant, il semble que cette transmission de la résistance au greffon reste parallèle à la résistance des porte-greffes non greffés .

C'est ainsi que les pêchers greffés sur hybride pêcher x amandier , montrent une résistance à la chlorose plus grande que lorsqu'ils sont greffés sur des semis de pêcher ; plusieurs essais ont déjà montré ce point, nous indiquons ci -dessous les observations réalisées en Espagne par RALLO (communication personnelle) avec les mêmes porte-greffes que ceux que nous avons étudiés . Il s'agissait de pêchers J. H. Hale plantés en 1965 sur différents porte-greffes en essai comparatif (20 répétitions) (tableau XVI) . Ce tableau montre nettement que la résistance à la chlorose des pêchers-amandiers se transmet au greffon ; en effet, sur ces porte-greffes, nous observons moins d'arbres chlorosés et ceux qui sont chlorosés le sont de façon moins intense .

Tableau XVI

Nombre de pêchers greffés sur différents porte-greffe et classés suivant l'indice de chlorose attribué à chaque arbre (sol chlorosant de la vallée de l'Ebre - d'après RALLO).

Variété JH Hale sur :		*Indices et nombre des arbres sous chaque indice*						*Indice moyen pour le porte-greffe*
Porte-greffe	*Année*	*0*	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	
Pêchers GF 305	1966	2	13	19	4	-	-	1,65
	1967	5	17	11	5	-	-	1,42
	1968	4	4	6	21	3	-	2,38
Pêchers G_1S 2489	1966	-	8	9	2	1	-	1,80
	1967	3	12	3	2	-	-	1,20
	1968	3	2	12	3	-	-	1,75
Pêchers x amandiers GF 557	1966	7	7	3	-	-	-	0,76
	1967	5	11	1	-	-	-	0,76
	1968	11	5	1	-	-	-	0,41
Pêchers x amandiers GF 677	1966	18	18	4	-	-	-	0,65
	1967	24	9	6	1			0,60
	1968	13	12	12	2	-	-	1,06

C - METHODE POSSIBLE D'EVALUATION DE LA RESISTANCE A LA CHLOROSE DE DIFFERENTES LIGNEES ET CLONES DE PORTE-GREFFES DE PECHERS.

Ainsi que nous l'avons montré préalablement, les différentes variétés peuvent être classées en fonction de leur sensibilité à la chlorose ferrique, si la dose de fer qu'on leur apporte est inférieure à une dose limite. Nous indiquerons ici la difficulté de ces tests.

Transplantation :

On doit s'efforcer de planter des jeunes pêchers ayant encore leurs cotylédons . Si tel est le cas, on peut appliquer immédiatement une solution carencée en fer, sinon, il faut utiliser d'abord une solution nutritive riche en fer avant la solution carencée .

Nous avons observé que le système radiculaire original de pêchers transplantés sans cotylédons cède la place à un système issu de l'extrémité inférieure du tronc . Les premières racines disparaissent plus tard . S'il s'agit de pêchers ayant leurs cotylédons, leur système radiculaire initial continue à se développer et les nouvelles racines, issues de la base de leurs tiges, viennent s'y ajouter .

Types de bacs :

Les bacs "Riviéra" de 35 l suffisent quand il s'agit d'éprouver au plus quatre lignées de pêchers . Il faut par contre des bacs de 500 l, ou mieux 1000 l quand le nombre de lignées est plus élevé . Nous pensons que les résultats les meilleurs seront obtenus en éprouvant simultanément les lignées en bacs de 1000 l et en bac "Riviéra", compte tenu des qualités et des défauts respectifs de ces deux types de récipients, qui furent discutés au chapitre matériel et méthode .

Groupement des variétés à éprouver :

S'il s'agit de faire un classement relatif dans l'espèce pêcher, il est possible d'établir des comparaisons par rapport à un porte-greffe témoin , ici GF 305 . Ce porte-greffe a l'avantage de fournir des ensembles de plantes très homogènes et d'être assez résistant à la chlorose . Les autres lignées de pêchers pourront donc être réparties en deça ou au-delà de GF 305 . Dans le cas où on étudie des variétés d'espèces très résistantes et des variétés d'espèces très sensibles, on est conduit à utiliser des solutions nutritives n'ayant pas, dans ces deux cas la même teneur en fer . Le comportement moyen des différentes lignées étudiées doit être noté à intervalles réguliers . La lignée notée comme résistant le plus grand nombre de fois sera considérée comme la plus résistante . Un intervalle de 8 à 10 jours entre chaque notation est convenable . Sauf certains cas où deux lignées sont bien différentes du point de vue de la résistance à la chlorose, il est nécessaire de multiplier les observations (comme le GF 305 et le Nemaguard) .

Nos nombreux essais acquis avec plusieurs lignées de pêchers, sur deux ou plusieurs saisons, nous montrent que les résultats d'une seule saison d'observation sont suffisants .

Clônes des hybrides pêchers-amandiers et des boutons de pêchers.

Les boutures issues de bouturage herbacé ont un enracinement délicat qui supporte difficilement la transplantation . On doit nécessairement les nourrir avec une solution nutritive riche en fer jusqu'à ce que leur vitesse de croissance soit de l'ordre de 1 cm/jour et leur hauteur 50 à 70 cm . On peut alors diminuer graduellement la concentration en fer, jusqu'à ce que les plantes montrent des symptômes plus ou moins marqués de chlorose . En aucun cas, il ne faut arrêter brutalement l'alimentation en fer . On élimine de l'essai toute plante montrant des signes d'arrêt de croissance . On ne fera des comparaisons qu'entre plantes ayant sensiblement la même vitesse de croissance . Les hybrides pêchers-amandiers ont tendance à arrêter de croître sans montrer de nécroses quand la solution nutritive manque de fer, ou que la quantité de solution nutritive est insuffisante pour la plante .

Dans nos expériences, la difficulté principale fut due à l'attaque du collet de certaines plantes par des microorganismes et se terminant par la mort subite de la plante (somme si l'irrigation était insuffisante) . Un examen attentif de la vitesse d'allongement montre que le flétrissement des feuilles dans le cas d'une attaque au collet fait suite à un arrêt de la croissance, lui-même précédé d'un ralentissement; ces deux étapes diffèrent souvent d'une évolution due à la carence en fer .

En bac "Riviéra", le contact de l'humidité avec la tige est réduit ; de ce fait, il y a moins de pertes par pourriture du collet, mais la taille de ces bacs limite leur emploi .

Il faudrait essayer d'utiliser un quartz très fin (1 mm) et d'éviter tout contact direct du tronc avec la solution nutritive très fréquemment apportée .

Pour les autres espèces (amandier, prunier. . .) nous proposons d'employer la même méthode que pour les semis de pêchers . Nous n'avons pas réalisé d'expériences avec des boutures d'espèces autres que pêcher et pêcher-amandier .

Ce premier test correspond à l'étude de la capacité des différentes lignées à utiliser le fer, en faible concentration, sous forme soluble et assimilable dans le milieu nutritif . Après reprise des plantes, on leur fournit une solution nutritive contenant 2, 5 p. p. m. de séquestrène, et par ailleurs normale . Si l'on observe des signes d'arrêt de croissance ou des débuts de nécrose, on ajoute du fer progressivement par tranche de 0, 5 p. p. m. de séquestrène . Il faut éviter que la plante n'atteigne un degré de chlorose de l'ordre de 6 ou 7, à ce stade où la croissance est trop réduite les comparaisons ne sont plus valables.

La sélection de plantes capables de bien utiliser le fer disponible présent dans le milieu à une faible concentration, semble répondre au problème agronomique de la résistance à des chloroses ferriques d'origine différente (comme cela a été observé au cours d'essais réalisés avec un même clône de pêcher - amandier dans des milieux chlorosants très divers avec ou sans calcaire, par exemple). Cependant, il serait bon de vérifier que le classement vis-à-vis de la sensibilité à la carence ferrique de quelques porte-greffes n'est pas modifié pour différentes conditions de nutrition : on pourrait comparer par exemple des nutritions réalisées avec :

- une solution nutritive carencée en fer
- une solution nutritive normalement pauvre,mais riche en bicarbonates ,
- une solution nutritive normalement pauvre en fer, mais riche en métaux lourds ,
- une solution nutritive normalement pauvre en fer, mais riche en phosphates .

CONCLUSIONS DE LA PREMIERE PARTIE

1°- Les symptômes de la chlorose ferrique chez les pêchers sont très typiques (chlorose de l'extrémité des pousses en croissance) et ressemblent à ceux occasionnés chez la plupart des autres espèces. Les feuilles atteintes de chlorose ferrique ont un rapport chlorophylle A/chlorophylle B plus élevé que les feuilles des plants sains verts .

Les plants sains verts ont un rapport pondéral "tige principale sur rameaux secondaires" plus élevé que les plants chlorosés. Ces derniers sont donc plus ramifiés . Cependant lorsque l'on donne du fer à un plant sévèrement chlorosé, tous les bourgeons latéraux latents ont tendance à pousser . L'initiation des racines est très réduite lorsqu'il n'y a pas assez de fer dans le milieu de culture . Pour un plant chlorotique, le rapport pondéral "partie aérienne du plant sur système radiculaire" est inférieur à celui des plants normaux .

2°- Dans les cultures expérimentales pour des jeunes pêchers cultivés sur gravier, avec une solution nutritive, une dose de 2,5 ± 1 p.p.m. de séquestrène de fer (contenant 5 p. 100 de Fe^{+++}) , provoque une chlorose ferrique . Avec cette dose, différentes lignées de pêchers montrent des différences d'intensité de chlorose, parallèles à leur sensibilité à cet accident en sols chlorosants .

La chlorose ferrique apparaît en une semaine lorsqu'une solution nutritive carencée en fer succède à une solution normale . A l'inverse, lorsqu'on apporte du fer à des pêchers chlorosés à la suite de l'emploi de solution nutritive carencée, on constate que toutes les nouvelles pousses reverdissent en une semaine . Les jeunes feuilles reverdissent plus vite que les feuilles plus âgées .

Lorsqu'on applique une dose de fer juste un peu inférieure à la dose considérée comme suffisante, la chlorose apparaît après un temps inversement proportionnel à la quantité de fer disponible pour la plante . Un phénomène du même genre semble se produire dans de nombreux vergers où la chlorose n'apparaît que quelques années après la plantation .

Une élimination brutale du fer dans la solution nutritive conduit initialement à un faux aspect de vigueur des plants qui ont alors des feuilles jeunes très larges et longues ; par la suite, les aspects plus graves de la déficience se précisent .

3°- L'ion hydroxyde a un effet très néfaste sur l'aptitude de la plante à utiliser le fer du milieu . Cet effet ne s'extériorise pas dans la première phase de croissance de la plante, par la suite, la carence induite par l'ion OH^- est très nette . L'action néfaste causée par cet ion est beaucoup plus marquée quand il est accompagné d'une déficience en fer .

D'autres cations, comme les phosphates et bicarbonates , induisent aussi la carence ou chlorose ferrique dont l'intensité se révèle être proportionnelle à la concentration de ces ions dans la solution nutritive .

Tous les cations Mo, Zn, Cu, Mn, Ca et K induisent aussi la chlorose ferrique . Leur aptitude à induire cette chlorose est fonction de l'ordre dans lequel ils sont indiqués ci-dessus .

4°- Une tentative a été faite pour examiner les effets possibles de l'infection par quelques virus sur les symptômes de la chlorose ferrique . Dans les conditions de nos essais, ces virus n'ont pas eu d'influence sur la coloration des feuilles .

5°- Dans les combinaisons de greffes où le greffon se trouve placé sur un porte-greffe résistant à la chlorose ferrique, une partie de la résistance du porte-greffe est transférée au greffon . Ces combinaisons se comportent de la même façon vis-à-vis d'une chlorose ferrique obtenue dans un sol calcaire ou de celle due à une déficience en fer dans la solution nutritive .

D E U X I E M E P A R T I E

ABSORPTION ET CIRCULATION DU FER CHEZ DIFFERENTS PORTE-GREFFES DE PECHERS : RELATIONS GREFFON-PORTE-GREFFE

Ces travaux sont faits en utilisant diverses techniques de culture du pêcher par exemple : culture sur graviers, aquiculture, et culture sur terre chlorosante . Par ailleurs, le matériel végétal utilisé était très diversifié : lignées de pêchers obtenues par semis, boutures de pêcher x amandier, les unes et les autres, tantôt greffées , tantôt non greffées, utilisation de plusieurs combinaisons de greffage.

CHAPITRE I
ESSAIS AVEC DES JEUNES PLANTS NON GREFFES

Après avoir mis au point une méthode provoquant la chlorose chez une lignée de pêchers, nous avons voulu suivre l'absorption du fer par les racines . Le transport de ce fer par la tige jusqu'aux feuilles a été suivi sur diverses espèces utilisées comme porte-greffe du pêcher : amandier, prunier, hybrides pêcher x amandier .

Nous avons également suivi l'absorption du fer à partir de la surface de la feuille et sa migration vers les autres tissus du pêcher.

MATERIEL ET METHODE

Les essais d'absorption, de conduction et de migration du fer ont été réalisés avec du fer marqué . L'étude des relations greffon-porte-greffe a été abordée par des cultures en milieu carencé .

1°- Matériel végétal .

Ces études ont été effectuées avec plusieurs lignées de pêchers de semis, des boutures d'hybrides pêcher x amandier, des semis d'amandiers et de pruniers . La description de ce matériel a été donnée dans la première partie .

2°- Technique de culture des plantes .

Les semis développés pendant un mois sur des graviers ont été transplantés et placés en culture aquatique .

3°- Technique d'aération .

Dans une première série, le milieu nutritif n'était pas aéré et ceci a conduit à un mauvais développement des radicelles et on a observé de nombreuses petites racines nécrosées .

Dans les autres séries, nous avons aéré la solution nutritive avec de l'air comprimé (pression 0, 2 kg/cm^2) à raison d'une demi-minute toutes les dix minutes en utilisant une pipette capillaire .

4°- Méthode de traitement avec le fer .

a) Les semis .

Quand les plantes eurent repris leur croissance normale, elles furent traitées avec la solution nutritive contenant le fer marqué 59 Fe . Le fer était apporté sous forme de $FeSO_4$ donné tous les jours à raison de 1 p.p.m. de fer . Les solutions nutritives ont été changées toutes les semaines (sauf dans quelques essais où nous avons étudié l'accumulation et le transport du fer) . Dans ces conditions, les jeunes arbres ont formé de nouvelles racines et de nouvelles feuilles et se sont développées normalement .

b) Les boutures pêcher x amandier .

En raison de la difficulté de faire pousser les boutures de pêchers x amandiers en aquiculture, nous avons employé pour celles-ci une technique spéciale : les pêchers x amandiers bien racinés ont été transplantés dans de petits bacs contenant du gravier puis, quand ils ont bien repris leur croissance (hauteur moyenne 60 cm) ils ont été immergés pendant 48 heures dans une solution nutritive contenant le fer marqué . Six jours plus tard, les plants ont été analysés . La radioactivité de la solution servant à arroser les plantes, était de 2500 coups par minute (c. p. m.) pour 5 ml de solution , correspondant à à 1, 5 µCie/litre de la solution nutritive .

5°- Mesure de la radioactivité .

Elle a été réalisée de deux manières :

a) Compteur à scintillation solide .

L'analyse de plantes ayant reçu du fer marqué 59 Fe a été réalisée en utilisant un compteur à scintillation solide (cristal à puits). Chaque plante analysée a eu d'abord son système radiculaire lavé pendant 10 minutes avec de l'eau courante ; par la suite, les feuilles d'abord, la tige ensuite, les racines enfin, ont été coupées en petits morceaux et placées dans le puits de l'appareil de mesure . Ce que nous appelons radioactivité totale d'une partie de la plante c'est la radioactivité observée lorsque cette partie est placée en petits fragments dans le puits du compteur .

1- Vanne magnétique (commandée par une horloge) permettant l'aération périodique des solutions nutritives.
2- Robinet de réglage de pression de l'air.
3- Pipette assurant une distribution uniforme et égale dans tous les pots de culture.
4- Pots de culture d'une capacité de un litre.
5- Couverture de matière plastique pour augmenter l'état hygrométrique.

FIGURE 19 - Vue générale de l'installation pour la culture aquatique des porte-greffes de pêchers.

b) Autoradiographies .

La plupart des rayons émis par le 59 Fe sont des rayons gamma . Cet élément marqué perd la moitié de sa radioactivité toutes les six semaines . Ces particularités empêchent d'une part d'obtenir des radiophotographies bien nettes . Cependant, bien que les films obtenus soient un peu flous, on peut très bien les interpréter lorsqu'on les examine par transparence . On a utilisé des films de radiographie (Kodirex) modèle de 30 sur 40 mm. Les plantes ont été aplaties entre deux feuilles de plastique, puis placées contre le film sensible, cela à une température de -20° centigrade pendant 24 heures pour arrêter tout métabolisme chez la plante . La durée d'impression pour les feuilles et tiges varie de un à deux mois et pour les racines de 24 h. à une semaine .

Les autoradiographies ont été utilisées dans un double but:

1- Confirmer des observations réalisées par le compteur électronique et obtenir des informations plus précises et mieux localisées (l'importance de la localisation du fer est mise en évidence par l'intensité des ombres du film) .

2- Préciser les petits détails de localisation que le compteur électronique ne peut mettre en évidence .

ABSORPTION DU FER PAR LES RACINES DE PECHERS

Nous avons étudié les divers aspects d'absorption, de pénétration et de stockage du fer dans les racines .

A / Rapidité d'absorption du fer par les racines des plantes .

Les racines de pêchers sont capables d'absorber de très grandes quantités de fer d'une solution nutritive assez riche en fer, et ceci, en très peu de temps . Ainsi, un trempage de racines de pêchers, âgés de six semaines, pendant deux secondes, a permis d'accumuler une quantité de fer semblable à celle qui s'accumule dans le feuillage après une semaine d'absorption . (tableau XVII) .

Tableau XVII

Radioactivité dans les racines de jeunes semis de la lignée de pêchers GF 305, après application de fer radioactif dans la solution nutritive pendant une durée plus ou moins longue (1000 c.p.m. pour 1 ml de cette solution).

Durée du traitement	*Radioactivité totale dans les racines*	*Nombre de plants étudiés*
2 secondes	687	2
2 minutes	1.500	1
30 minutes	11.000	1
3 heures	12.000	2
6 heures	17.000	2
12 heures	18.000	2
24 heures	33.000	1
36 heures	38.000	1
4 jours	43.000	1
8 jours	68.000	4
10 jours	64.000	2
15 jours	61.000	2

L'accumulation du fer dans les racines est très rapide dans les trente premières minutes (10.000 à 15.000 c.p.m.). Elle ereste encore assez rapide durant les premières heures et diminue un jour à deux après le début du traitement (environ 20.000 c.p.m. pour 24 à 36 heures d'absorption). En sept jours d'absorption, la quantité de fer dans les racines est montée jusqu'à 40.000 c.p.m. et en quinze jours, jusqu'à 60.000 c.p.m. Ainsi, nous voyons que l'absorption du fer est beaucoup plus importante au début du traitement des racines avec une solution nutritive riche en fer, que plus tard. Mais on constate un rapport direct entre la durée d'application de la solution et l'importance de la concentration du fer dans les racines.

B / Rôle de l'état d'activité des racines dans l'absorption du fer .

Nous voyons dans le tableau XVIII que pour les quatre systèmes radiculaires d'une même lignée de pêchers G_1S 2811 (Nemaguard) et six systèmes radiculaires d'un même clône de pêcher x amandier 677, la quantité de fer dans l'un de ces systèmes peut être double que dans celui d'un autre . Une observation sur l'état de ces systèmes radiculaires montre que ceux qui ont davantage absorbé de fer ne sont pas seulement plus volumineux, mais ont surtout une proportion plus importante de radicelles actives blanches non-lignifiées, c'est-à-dire un taux de croissance plus élevé . Cela nous amène à penser qu'il y a une relation directe et très importante entre le taux de croissance des racines et leur pouvoir d'absorption du fer .

Pourtant, il ne semble pas que les radicelles blanches soient plus riches en fer que les radicelles plus âgées . Dans un essai, les radicelles blanches des pêchers x amandiers GF 677 furent séparées et analysées . En ramenant le taux de radioactivité au poids sec, on constate que la concentration de fer dans les radicelles blanches est la même que dans les radicelles plus anciennes qui ont une couleur brune .

Nous avons remarqué aussi que pour deux systèmes radiculaires qui ont une même longueur de radicelles, le système radiculaire qui a davantage de racines secondaires et tertiaires, absorbe plus de fer que celui qui en a moins . Nous voyons dans le tableau XIX que la concentration de fer dans les racines principales est cinq à dix fois moindre que dans les radicelles .

Tableau XVIII : Un exemple de la distribution de fer dans les racines de quatre semis de pêchers S.2811, développés et traités dans les conditions identiques (solution aérée) ; et de 6 boutures de Pêchers x Amandiers, traitées suivant d'autres conditions (cultures sur gravier, submergées).

	Classement d'après la ramification et l'abondance du chevelu radiculaire	*RADIOACTIVITE DANS LES RACINES*	*RADIOACTIVITE DANS LE FEUILLAGE*	
		Totale c.p.m.	*Totale c.p.m.*	*Pour 100 mg. de matière fraîche. c.p.m.*
Pêcher S. 2811 7 jours d'application de fer marqué	R 1	47.372	132.	38
	R 2	60.620	197	38
	R 3	62.836	199	36
	R 4	76.839	237	49
Pêcher Amandier GF 677 3 jours d'application de fer marqué	R 1	1.503	86	2,1
	R 2	2.219	159	2,6
	R 3	2.520	201	3,4
	R 4	3.037	255	4,6
	R 5	3.040	344	4,5
	R 6	3.436	332	4,9

C / Facteurs spécifiques et variétés dans l'absorption du fer .

Il existe une variation très importante du pouvoir d'accumulation du fer chez les différentes espèces de Prunus (tableau XIX) . Une comparaison faite entre Prunus persica, Prunus domestica et Prunus amygdalus montre que Prunus domestica accumule plus de fer que Prunus amygdalus et celui-ci plus que Prunus persica . Les différences de teneur en fer dans les systèmes radiculaires de ces plantes apparaissent plus nettement quand elles sont exprimées par 100 mg de matière sèche .

Nous avons étudié soigneusement le pouvoir d'absorption du fer par des systèmes radiculaires de lignées différentes d'une même espèce (Prunus persica) . Nous n'avons pas constaté de différences constantes et significatives de teneur en fer du système radiculaire liées à une lignée après une application de fer d'une durée de une semaine dans des conditions identiques (tableau XXI) .

Tableau XIX : Radioactivité dans les feuilles-tiges et racines de 2 lignées de pêchers, un semis d'amandier et un semis de prunier (7 jours de traitement en solution aérée).

	RADIOACTIVITE DU FEUILLAGE		*RADIOACTIVITE DE LA TIGE*		*RADIOACTIVITE DES RACINES*	
	Totale c.p.m.	*pour 100 mg.de mat. fraîche c.p.m.*	*Totale c.p.m.*	*pour 100 mg.de mat. fraîche c.p.m.*	*Totale c.p.m.*	*pour 100 mg.de mat. fraîche c.p.m.*
Pêchers S.2811 (Nemaguard)	247	8	38	4	54.068	25.031
Pêchers GF 305-1	929	23	195	14	66.402	26.246
Amandiers R. 210	1.459	69	198	21	284.019	216.808
Prunier St Julien n°1.	1.412	409	287	286	58.913	245.470

Tableau XX :

Radioactivité dans les feuilles, tiges et racines de 2 clones d'hybrides pêchers x amandiers,
(7 jours après la submersion des systèmes racineux des plantes dans une solution nutritive contenant du fer marqué).

Clone	*Radioactivité dans les feuilles total c.p.m.*	*Radioactivité dans les feuilles pour 100 mg. de mat. fraîche*	*Radioactivité dans la tige total c.p.m.*	*Radioactivité dans la tige pour 100 mg. de matière fraîche. c.p.m.*	*Radioactivité dans les racines - total c.p.m.*	*Radioactivité dans les racines pour 100mg de mat. sèche. c.p.m.*	*Observation*
GF 677	240	3,7	79	2,9	2.702	11,95	moyenne de 12 répétitions
GF 557	104	1,0	20	0,4	2.778	10,33	moyenne de 7 répétitions

Tableau XXI

Distribution du fer radioactif absorbé, entre racines principales et radicelles, chez plusieurs lignées de Pêchers.

	RACINES PRINCIPALES		RADICELLES	
	Radioactivité en c.p.m.		Radioactivité en c.p.m.	
	totale	pour 100 mg. de mat. sèche	totale	pour 100 mg. de mat. sèche
Némaguard S. 2811	13.475	16.072	164.640	102.410
S. 300	11.048	16.490	139.274	92.720
GF. 305	10.332	20.520	129.267	276.440
S. 2541	18.947	27.460	126.342	194.770
S.2575	13.863	28.881	134.802	184.660

FIGURE 20 : Photo autoradiographique; localisation du fer marqué principalement dans l'écorce des racines.

D / Distribution du fer dans les tissus des racines .

Dans les racines, la plupart du fer se trouve dans l'écorce et très peu dans le xylème. Dans un essai, une semaine après l'absorption de fer marqué , l'écorce fut soigneusement enlevée sur un espace annulaire laissant ainsi une partie du système vasculaire nu . Une radiophotographie de ces racines particulièrement écorcées montre très nettement une localisation importante du fer dans l'écorce .

Il ne semble pourtant pas qu'il s'agisse seulement d'une simple absorption de fer sur la surface des racines . En effet, dans un autre essai, un système radiculaire de GF 305 ayant reçu la solution nutritive contenant du fer marqué, fut plusieurs fois lavé avec l'acide chlorhydrique normal et un autre système radiculaire fut lavé, pendant huit heures, avec de l'eau courante permutée . Ces deux systèmes montrèrent encore après ces lavages une accumulation importante de fer marqué respectivement de 10 et 50 % .

E / Effet de la présence du feuillage sur l'absorption du fer par les racines .

Dans un essai, un plant de pêchers GF 305 avec un système radiculaire normal, fut placé à côté d'un système radiculaire sans tige ni feuillage et traité avec une solution nutritive contenant du fer marqué. A la suite de plusieurs répétitions, nous avons constaté que la concentration de fer dans le système radiculaire de la plante complète et le système radiculaire sans partie aérienne était presque la même .

En fait, le feuillage n'utilise qu'une très petite partie du fer absorbé par les racines . Il semble qu'il utilise non seulement très peu du fer absorbé par les racines, mais encore intervient peu dans son absorption (Il est probable que cette petite partie de fer utilisée par le feuillage n'est pas dans le même état métabolique et biochimique que le reste du fer dans les racines) .

TRANSPORT DU FER DES RACINES JUSQU'AUX FEUILLES CHEZ QUELQUES PORTE-GREFFES DE PECHERS

Nous avons étudié plusieurs lignées de pêchers et quelques autres porte-greffes du pêcher pour trouver, d'une part un rapport possible entre leur aptitude à transporter le fer et leur résistance à la chlorose, et d'autre part, étudier le mécanisme de transport du fer dans ces plantes .

A - TRANSPORT DU FER EN FONCTION DU COURANT DE TRANSPIRATION .

Le transport du fer peut se faire en l'absence complète de système radiculaire ou en présence d'un système radiculaire plus ou moins fonctionnel .

1°- Cas des pêchers sans système radiculaire .

Dans un essai, les pêchers ont été coupés au niveau du collet et la base de leur partie aérienne a été mise à tremper dans une solution de fer marqué . Ils ont accumulé dans leur feuillage une quantité de fer très importante (une moyenne de 525 c. p. m.) par rapport à des pêchers possédant leurs racines, ayant accumulé pour la même durée de traitement 10 c. p. m. en moyenne . Cette concentration de 525 c. p. m. est supérieure aux concentrations de fer trouvées pour n'importe quelle lignée de pêchers avec ses racines, mises dans la solution pendant le même temps .

2°- Cas des pêchers avec système radiculaire mutilé .

Quand un jeune pêcher est transplanté d'un milieu de culture de gravier, dans un milieu aqueux de solution nutritive, toutes ses radicelles sont plus ou moins endommagées et nous avons alors constaté une moins bonne montée du fer que dans le cas de systèmes en parfait état végétatif . Il faut quelques jours avant que ces pêchers, dont le système radiculaire a été endommagé par la transplantation, reprennent leur croissance (pourvu qu'il n'y ait pas de conditions d'asphyxie ou d'infection par des microorganismes) .

Pour les plants récemment transplantés, les racines blessées permettent cependant une certaine conduction du fer se réalisant probablement de différentes façons :

a) Les radicelles totalement nécrosées ne permettent aucune montée du fer,

b) Les radicelles cassées permettent une montée passive du fer analogue à celle qui se produit avec les pêchers sans système radiculaire ,

c) Les quelques radicelles très peu endommagées sont responsables d'une faible montée active du fer .

Le résultat de ces trois phénomènes est qu'avec une plante récemment transplantée, la montée du fer est moindre que celle observée avec une plante dont les racines sont en croissance active ou a fortiori de celle observée chez une plante sans système racinaire .

Remarque : ceci expliquerait peut-être la plus grande sensibilité à la chlorose des plantes dont les racines sont endommagées (asphyxie, injection par nématodes, etc ...) .

Dans tous les cas, la présence d'un système radiculaire en mauvais état physiologique semble réduire la quantité de fer qui monte jusqu'aux feuilles .

B - TRANSPORT DU FER EN FONCTION DE L'ACTIVITE METABOLIQUE DES PLANTES .

Quand une plante est dans un état normal de croissance, les racines absorbent du fer du milieu de croissance et celui-ci est transporté jusqu'aux feuilles . Le pourcentage de fer transporté des racines jusqu'aux feuilles est pourtant très faible (voir tableau XVIII) .

C - DISTRIBUTION DU FER DANS LES PARTIES AERIENNES .

1°- Les tendances générales .

A la suite de l'analyse de très nombreux pêchers, nous avons obtenu les résultats indiqués dans le tableau XXII et XXII bis . Il est ainsi évident que le fer monte vers le sommet . La majeure partie du fer (jusqu'à 80 %) transporté dans la partie aérienne se trouve localisé dans le sommet en croissance (c'est-à-dire le cinquième de la longueur de la jeune plante) .

Tableau XXII :

Absorption de fer, au niveau des feuilles, par des pêchers GF 305, dans un état actif de croissance (durée du traitement 7 jours).

	Bourgeons du sommet	*Groupe de 3 feuilles du sommet vers la base*							
		1er	*2ème*	*3ème*	*4ème*	*5ème*	*6ème*	*7ème*	*8ème*
Ra. total c.p.m.	88	321	135	42	30	23	22	25	11
Ra. c.p.m./100mg de matière fraiche	67	57	22	9	10	11	14	11	7

Tableau XXII bis :

Concentration de fer dans les feuilles jeunes de pêchers GF 305-1 en fonction de leur niveau sur l'arbre et de la durée du traitement radioactif.

Durée du traitement	*Radioactivité des feuilles c.p.m.*				*Radioactivité des feuilles pour 100 mg. de mat. fraiche. c.p.m.*			
	1°tiers	*2°tiers*	*3°tiers*	*Totale*	*1°tiers*	*2°tiers*	*3°tiers*	*Totale*
7jours	797	180	50	1.027	44	12	7	
30jours	737	644	64	1.445	56	69	16	

FIGURE 21 : Photographie autoradiographique d'un jeune pêcher montrant la montée du fer marqué métabolisé (une semaine de traitement avec une solution nutritive radioactive. Durée de réalisation de la radiographie 2 mois).

Dans le cas où le fer est monté sans intervention des racines, cas des plantes coupées au collet, il se concentre moins dans le sommet .

Dans la plupart des cas observés de transport du fer chez les pêchers ou autres Prunus, la quantité de fer qui s'accumule dans les feuilles adultes complètement développées est presque nulle (tableau XXII) ce qui explique pourquoi ces feuilles sur un arbre chlorosé ne reverdissent pas lors d'un apport de fer sous formes convenables, alors que les feuilles très jeunes reverdissent .

2°- Importance relative des feuilles et de la tige .

La plus grande partie du fer montant vers le sommet ne s'arrête pas dans la tige . Ainsi nous avons trouvé que la quantité de fer dans la tige est très faible par rapport à celle contenue dans les feuilles (voir tableau XX) . Avec le temps, le rapport du fer absorbé par les feuilles et par la tige augmente .

3°- Blocage du fer dans la tige .

Quand les plantes sont dans un état d'arrêt de croissance, le fer ne monte pas dans les feuilles . Nos études avec plusieurs lignées de pêchers ont montré qu'une plante qui a formé un bourgeon terminal ne montre pas de pénétration du fer dans les feuilles . Ainsi, nous avons trouvé dans toutes les lignées de pêchers étudiées que le fer dans un tel cas est en concentration anormalement haute dans la tige .

4°- Distribution du fer dans les divers tissus de la tige .

Nous avons essayé de préciser la localisation du fer dans la tige . Pour cette étude, nous avons employé l'hybride pêcher x amandier GF 677 parce que, pour le même âge, la tige du pêcher-amandier est plus facile à écorcer que celle du pêcher .

a) Distribution verticale .

La concentration verticale du fer est beaucoup plus forte vers le sommet que vers la base, ce qui est assez analogue à la distribution du fer dans les feuilles à différents niveaux . Tout à fait en bas, il y a une concentration anormalement trop haute près du point d'union de la tige et des cotylédons . Cela est probablement lié au fait que cette partie est en contact direct avec la solution nutritive, et ainsi il y a une pénétration du fer dans la tige sans intervention des racines .

b) Distribution horizontale .

Presque la moitié du fer se trouve dans le bois et l'autre dans l'écorce . Pourtant , si on enlève l'anneau externe de xylème et l'écorce, il ne reste dans le bois que 10% de la totalité du fer dans la tige, ce qui montre que le fer est abondant dans le bois récemment formé .

5°- Distribution du fer dans les diverses parties d'une feuille .

Les feuilles ayant suffisamment absorbé le fer montrent des taches sombres, certaines de ces taches sombres sont grosses , mais la plupart sont petites . Elles se détachent sur un fond gris plus clair, formé par une distribution de fer plus uniforme .

On peut penser que ces taches plus sombres sont le résultat de la précipitation du fer dans les feuilles .

En dehors de cette hétérogénéïté de localisation fine se présentant sous forme de taches, la distribution du fer dans les feuilles de toutes les espèces étudiées montre que celle-ci suit le même schéma et la même localisation que la couleur jaune due à la chlorose ferrique dans le stade initial de la maladie .

Le schéma de la distribution du fer fut le même pour les jeunes pêchers ayant à leur sommet des feuilles vertes que pour ceux ayant à leur sommet des feuilles chlorotiques . Ainsi, on peut conclure que chez les feuilles vertes, une accumulation supplémentaire de fer est possible même quand il y a déjà une concentration physiologiquement suffisante de fer . Cette accumulation est plus importante dans les tissus les moins susceptibles à la chlorose ferrique et moins importante dans les tissus qui sont plus susceptibles . La résistance relative de certains tissus semble ainsi être liée à l'existence de leurs réserves plus importantes en fer .

Ainsi, nous pouvons conclure que, dans nos conditions expérimentales, la chlorose ferrique chez les Prunus est directement en relation avec l'alimentation des feuilles en fer .

D - FACTEURS SPECIFIQUES ET GENETIQUES INFLUANT SUR LE TRANSPORT DU FER .

1°- Facteurs génétiques dans la même espèce.

Bien que nous ne soyons pas arrivé à trouver une différence d'absorption par les racines des différentes lignées de pêchers, liée à leur nature génétique, nous avons observé avec plusieurs lignées que celles qui résistaient le mieux à la chlorose ferrique transportaient mieux le fer des racines jusqu'aux feuilles et aux autres parties aériennes (tableaux XIX et XX) . Ainsi, nous voyons que la lignée G_1S 2811 (Nemaguard) qui est bien connue pour sa susceptibilité à la chlorose, accumule beaucoup moins de fer que la lignée GF 305 qui est modérément résistante . De plus, entre les deux clônes GF 677 et GF 557, le premier qui est considéré comme plus résistant à la chlorose accumule plus de fer dans les feuilles que GF 557 (les chiffres pour les pêchers x amandiers ne sont pas comparables à ceux des lignées de pêchers parce que les techniques utilisées n'étaient pas les mêmes) .

2°- Facteurs spécifiques .

Si on fait une comparaison entre les trois espèces : prunier, pêcher et amandier (tableau XIX) , on constate que le prunier et l'amandier transportent beaucoup mieux le fer que les pêchers . Ces espèces , ainsi, absorbent beaucoup plus de fer que les pêchers et en transportent aussi beaucoup plus . En dehors de cela, les pruniers gardent une réserve de fer dans leur tige qui est beaucoup plus importante que celle de l'amandier ou du pêcher .

Ces différences spécifiques donnent une certaine explication de leur meilleure résistance à la chlorose .

ABSORPTION DU FER A PARTIR DE LA SUPERFICIE DES FEUILLES ET SA MIGRATION CHEZ LE PECHER

Des pêchers se développant activement dans une culture aquatique ont été utilisés pour ces essais . L'extrémité en croissance ainsi que les trois premières feuilles furent immergées pendant deux ou quatre jours dans une solution contenant du sulfate de fer radioactif. Après lavage, les concentrations de fer ont été déterminées à l'aide d'autoradiographies obtenues après un contact de deux mois .

A - ABSORPTION DU FER DANS LES FEUILLES IMMERGEES .

Le fer pénètre dans ces feuilles très uniformément, ainsi, il n'y a pas de schéma particulier de présence du fer dans les tissus des feuilles après la pénétration par la surface . La seule chose que l'on ait pu constater est que les feuilles plus jeunes absorbent davantage de fer que les feuilles plus âgées .

B - MIGRATION VERS LES TISSUS NON TRAITES .

Cette migration peut se faire vers les autres feuilles ou le long de la tige .

1°- Migration vers les autres feuilles .

Dans les conditions de nos expériences, le fer ne migre que dans la première feuille ; la plus proche de celles qui étaient submergées dans la solution de fer marquée .

En entrant dans cette feuille, le fer a pris exactement le même schéma que s'il provenait des racines ; c'est-à-dire qu'il s'accumule davantage près des nervures et vers l'apex des feuilles .

2°- Migration le long de la tige .

Il semble que le fer migre plus facilement le long de la tige vers les feuilles . Dans nos essais, nous avons trouvé qu'il migre vers la base de la tige, mais n'est jamais arrivé aux racines .

C - PRECIPITATION DU FER DANS LES FEUILLES ET DANS LA TIGE .

Dans les autoradiographies, nous voyons des taches noires, indiquant la présence du fer à la suite de sa migration des feuilles traitées aux feuilles non traitées et à la tige ; ces taches sont beaucoup plus foncées que celles observées quand le fer a été apporté par les racines . Cela fait penser à une précipitation possible du fer qui se produirait plus vite et plus intensément .

Parce que ces plantes, après leur traitement, ont été mises en contact avec les films radiographiques pendant deux mois, il est difficile de dire que cette distribution et que cette précipitation existaient après l'arrêt du métabolisme ou avant .

FIGURE 22 : Photo autoradiographique ; déplacement du fer par les veines de la conduction apporté par la voie foliaire. Les feuilles 1, 2 et 3 furent immergées pendant 2 jours en faisant incliner la plante en forme U. Le fer monta vers la feuille 4 contre la gravité.

CHAPITRE II

ESSAIS DE NUTRITION FERRIQUE DES PLANTES GREFFEES

Sur des plantes greffées, nous avons étudié l'utilisation du fer en fonction des différents porte-greffes et les relations greffon-porte-greffe en réalisant des combinaisons de greffage réciproques .

UTILISATION DU FER EN FONCTION DES RELATIONS GREFFON-PORTE-GREFFE

Il convient tout d'abord d'expliquer brièvement le problème des relations porte-greffe-greffon .

A - RAPPEL DU PROBLEME .

Les interactions greffon-porte-greffe sont complexes et intéressent de très nombreuses caractéristiques . Ici nous nous limiterons à ce qui concerne la chlorose .

1°- Cas général des arbres fruitiers .

La nature du porte-greffe peut réduire ou accroître la sensibilité à la chlorose de la variété utilisée comme greffon, "variété-greffon" par rapport à la sensibilité qu'elle exprime lorsqu'elle végète sur ses propres racines .

Sur des porte-greffes tout à fait semblables et végétant dans un même milieu, des "variétés-greffon" d'une même espèce peuvent exprimer différemment la sensibilité à la chlorose .

2°- Cas du groupe Prunus .

Une "espèce-greffon" résistante (amandier ou abricotier) greffée sur le système racinaire d'une espèce sensible (pêcher) forme une association qui résiste mieux à la chlorose en terrain chlorosant que l'espèce sensible non greffée ou greffée par une variété de la même espèce . Cela montre l'incidence que le greffon peut avoir sur la physiologie racinaire , en particulier sur son aptitude à prélever le fer du milieu . Disposant de porte-greffes génétiquement très homogènes, lignée de pêcher ou clône d'hybrides pêcher x amandier, nous avons essayé d'apporter une contribution à une meilleure compréhension de ces interactions .

B - MATERIEL ET METHODES .

Les plantes utilisées dans de tels essais sont nécessairement assez développées , ce qui rend difficile l'utilisation du fer marqué . Nous avons pour cela uniquement étudié le développement de la chlorose ferrique chez différentes combinaisons "greffon-porte-greffe" à l'aide de cultures sur graviers et alimentées avec des solutions carencées en fer dans des conditions rigoureusement semblables .

La quantité de séquestrène de fer apportée dans les solutions nutritives carencées fût de 5 p. p. m. pour les bacs de 35 litres et de 1, 5 à 2, 5 pour les bacs de 1000 litres . Ces doses ont été ajustées pour maintenir une chlorose modérée (les besoins en fer augmentant progressivement avec l'âge des plantes) .

Cinq essais ont été réalisés :

Premier essai

Le premier essai a été réalisé dans 12 bacs de 35 litres dans chacun desquels six jeunes pêchers GF 305 se développèrent du 18-10-68, jusqu'au 3-9-69, date à laquelle ils furent greffés par écussonnage de façon à réaliser les cinq combinaisons suivantes dans chaque bac (chaque bac constituant une répétition complète ou partielle) :

	Greffon	Porte-greffe
1	Amandier R486	Pêcher GF 305
2	Hybride pêcher x amandier GF 557	Pêcher GF 305
3	Pêcher Earliglow	Pêcher GF 305
4	Pêcher GF 305	Pêcher GF 305
5	Pêcher GF 305 non greffé	

Deuxième essai .

Le deuxième essai fut réalisé dans des conditions similaires de culture hydroponique sur gravier avec des solutions carencées(bacs de 1000 litres, solution de 1, 5 à 2, 5 p. p. m. de séquestrène de fer) . Cette expérience a duré du 14-4-1969 jusqu'au 7-10-1970 (le greffage a été réalisé préalablement) .

Troisième essai .

Un troisième essai réalisé de la même manière que le second, commencé le 12-5-70 dura jusqu'à Octobre 1970 .

Quatrième essai .

Cet essai fut réalisé avec une partie du matériel du premier essai, la seule différence était que la solution nutritive contenait les métaux lourds autres que le fer, en plus grande concentration (7, 5 mEq/litre au lieu de 0, 75) et que la concentration de séquestrène de fer était augmentée de 5 p. p. m. à 20 p. p. m.

Cinquième essai .

Une partie du matériel végétal utilisé pour les expériences 1 et 4 fut planté dans des caisses de bois (1/4 m^3) contenant une terre chlorosante (voir tableau III page 30) . Le comportement de ces combinaisons greffon-porte-greffe est connu dans les conditions de culture en champ . Le but principal de cet essai était de vérifier ce comportement dans les conditions de la serre où nos autres essais furent réalisés .

C - RESULTATS .

Premier essai :

Les résultats sont indiqués dans le tableau XXIII .

Greffés sur eux-mêmes ou non greffés, les pêchers GF 305 se comportent de la même façon . Les pêchers Earliglow, greffés sur GF 305, chlorosent moins que GF 305 sur GF 305 .

Les hybrides pêcher x amandier GF 557 et les amandiers R 486, greffés sur pêcher chlorosent plus que les pêchers greffés sur pêchers, ce qui laisse supposer une exigence en fer plus forte des systèmes aériens amandiers ou pêcher x amandier .

Tableau XXIII : Indices majeurs de chlorose observés sur des pêchers, des amandiers et des hybrides pêchers x amandiers tous freffés sur pêchers GF 305 et alimentés avec une solution nutritive carencée en fer (année 1969).

a) Amandiers R 486 en comparaison avec les pêchers GF 305 moyenne de 9 répétitions.

Semaines après le début de croissance des greffons	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
Pêchers GF 305 greffés sur pêchers GF 305	0,4	0,8	1,0	1,1	1,1	1,0	1,1	1,3	1,7	2,0
Amandiers R 486 greffés sur pêchers GF 305	0,3	0,7	1,0	1,1	1,3	1,6	1,9	2,1	2,4	3,0

b) Pêchers x amandiers GF 557 en comparaison avec pêchers GF 305 moyenne de 12 répétitions.

Semaines après le début de croissance des greffons	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
Pêchers GF 305 greffés sur pêchers GF 305	0,4	0,6	0,8	0,9	0,8	1,1	1,1	1,5	1,9	2,1
Pêchers x amandiers GF 557 greffés sur pêchers GF 305	0,2	0,3	0,8	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,2	2,6

c) Pêchers, variétés Earliglow et GF 305, greffés sur pêchers GF 305 (moyenne de 11 répétitions)

Semaines après le début de croisance des greffons	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19
Pêcher GF 305 sur GF 305	1,3	0,8	0,8	1,0	1,2	1,8	2,1	2,5	3,0	3,0
Pêcher Earliglow sur GF 305	0,3	0,9	0,7	1,7	0,7	1,2	2,1	2,0	2,0	2,0
Pêcher GF 305 non greffés (terrain)	0,3	0,8	0,5	1,4	1,1	1,8	2,0	2,3	2,5	3,0

Deuxième essai .

Les arbres de la variété de pêchers Earliglow, greffés sur hybrides pêcher x amandier GF 677 et GF 557, chlorosent moins que les pêchers (Earliglow ou GF 305) végétant sur racines de pêchers GF 305 .

Ces deux résultats confirment ce que l'expérience agronomique nous a déjà appris à savoir :

1- que les racines d'hybrides pêchers x amandiers confèrent aux pêchers greffés sur elles, une meilleure résistance à la chlorose ;

2- que les hybrides pêchers x amandiers végétant sur leurs propres racines chlorosent moins que les pêchers sur leurs racines, et qu'elles sont capables de prélever ou de concentrer davantage de fer à partir du milieu où elles se développent .

Les autres résultats observés dans cette expérience confirment ceux de l'expérience précédente .

Troisième essai (tableau XXV)

Le troisième essai a tout à fait confirmé les résultats obtenus dans les deux premiers essais . C'est-à-dire que :

a) Les pêchers Earliglow greffés sur hybrides pêcher x amandier chlorosent moins que lorsqu'ils sont greffés sur pêcher GF 305 . La chlorose sur l'hybride GF 677 est moins marquée que sur l'hybride GF 557 . Tous ces résultats vont tout à fait dans le sens de ceux donnés par l 'expérimentation en terrain chlorosant .

b) Les amandiers et les hybrides pêcher x amandier greffés sur pêcher chlorosent un peu plus que les pêchers greffés sur pêchers, ce qui ne correspond pas aux observations agronomiques faites en terrain chlorosant .

c) L'hybride pêcher x amandier végétant sur ses propres racines chlorose moins que le pêcher également sur ses racines . Cette différence apparaissant moindre que celle observée en terrain chlorosant .

Quatrième et cinquième essais (tableau XXVI)

Dans ces deux essais (forte teneur en oligo-élément et terre calcaire) nous avons remarqué que pêcher x amandier GF 557 et particulièrement l'amandier R 486 greffés sur GF 305 chlorosent moins que les pêchers GF 305 ou Earliglow sur ces mêmes pêchers GF 305 . Leur comportement dans de telles conditions apparaît contradictoire avec celui observé avec les cultures sur graviers alimentées avec une solution nutritive déficiente en fer .

Tableau XXIV : Indice de chlorose des plantes d'hybrides pêchers x amandiers GF 557 et amandiers R. 486 en comparaison avec pêchers GF 305 tous greffés sur pêchers GF 305 alimentés avec une solution carencée en fer ; l'essai 2, année 1970.

a) pêchers x amandiers GF 557 en comparaison avec les pêchers GF 305 moyenne de 9 répétitions.

Date d'observation année 1970	12.5	19.5	26.5	2.6.	10.6	18.6
Pêchers GF 305 sur GF 305	0,3	1,0	0,9	0,6	0,8	0,6
Pêchers x amandiers GF 557 sur GF 305	1,9	2,6	2,2	1,8	0,8	0,4

b) amandiers R.486 en comparaison avec pêchers GF 305 moyenne de 5 répétitions.

Date d'observation année 1970	12,5	19.5	26.5	2.6	10.6	18.6
Pêchers GF 305 sur GF 305	0,6	1,2	1,2	0	0	0
Amandiers R.486 sur GF 305	3,6	3,4	3,4	3,0	1	1

Tableau XXV : Evolution de la chlorose chez différentes combinaisons greffon - portegreffe alimentées par des solutions nutritives carencées en fer (essai 3).

GREFFON	PORTEGREFFE	N° de plante	INDICE DE CHLOROSE DONNEE AUX DIVERSES DATE D'OBSERVATION ; ANNEE 1970									
			24.6	1.7	22.7	29.7	5.8	13.8	20.8	27.8	18.9	30.9
Pêcher Earliglow	GF 677 Pêcher x amandier	1	0	0	1	2	1	-	3	3	1	-
		2	1	1	0	1	1	-	3	3	2	-
		3	1	1	1	1	1	-	2	3	2	-
		4	1	1	1	1	1	-	2	2	1	-
		5	1	-	-	-	-	-	1	1	1	-
		6	-	-	-	-	-	-	2	2	0	-
		7	-	-	-	-	-	-	2	2	1	-
		8	-	-	-	1	-	2	1	2	1	-
	Moyenne		*0,8*	*0,8*	*0,6*	*1,2*	*1,0*	*2,0*	*2,0*	*2,2*	*1,0*	-
Pêcher Earliglow	GF 557 Pêcher x amandier	1	2	2	1	3	3	3	3	4	2	-
		2	1	1	0	1	2	-	4	4	3	-
		3	2	2	0	2	3	-	4	4	3	-
		4	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-
		5	2	2	2	-	-	-	-	-	2	-
		6	1	2	3	2	-	-	1	2	2	-
		7	1	1	1	2	-	-	-	-	-	-
		8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Moyenne		*1,4*	*1,6*	*1,3*	*2,0*	*2,7*	*3,0*	*3,0*	*3,5*	*2,4*	-
Pêcher Earliglow	GF 305 Pêcher	1	2	2	2	3	4	4	4	5	4	-
		2	3	3	2	3	3	3	4	4	3	-
		3	3	2	2	3	4	4	4	4	4	-
		4	2	3	3	4	4	4	5	5	4	-
		5	3	3	3	2	2	3	4	4	3	-
		6	3	3	3	3	3	4	4	4	3	-
		7	2	3	-	3	-	2	2	3	-	-
		8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Moyenne		*2,6*	*2,7*	*2,6*	*3,0*	*3,3*	*3,4*	*3,9*	*4,1*	*3,4*	-

Pêcher x amandier GF 557	Pêcher GF 305	1	2	3	3	4	5	5	5	5	4	3
		2	–	2	3	4	5	–	–	–	–	–
		3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4
		4	2	3	3	3	3	3	4	4	3	5
	Moyenne		*2,3*	*2,7*	*3,0*	*3,5*	*4,0*	*4,0*	*4,3*	*4,3*	*3,3*	*4,0*
Amandier R 486	Pêcher GF 305	1	3	3	1	2	3	5	5	5	3	3
		2	3	3	3	5	5	5	6	6	3	4
		3	2	2	1	2	2	3	3	3	4	4
		4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Moyenne		*2,7*	*2,7*	*1,7*	*3,0*	*3,3*	*4,3*	*4,7*	*4,7*	*3,3*	*3,7*
Pêcher GF 305	Pêcher GF 305	1	3	3	3	4	4	5	5	5	3	–
		2	3	4	3	4	4	5	6	6	3	3
		3	1	1	2	2	3	4	4	4	4	4
		4	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4
		5	–	–	–	3	4	4	4	4	3	4
	Moyenne		*2,2*	*2,7*	*2,7*	*3,4*	*3,8*	*4,4*	*4,6*	*4,6*	*3,4*	*3,7*
GF 305 non greffé		1	3	3	3	5	5	5	6	6	4	4
		2	2	2	2	2	3	4	4	5	3	4
		3	3	3	3	2	3	3	4	4	3	3
		4	2	3	3	4	4	3	3	4	3	4
	Moyenne		*2,5*	*2,7*	*2,7*	*3,2*	*3,7*	*3,7*	*4,2*	*4,7*	*3,2*	*3,7*
GF 557 non greffé		1	2	1	1	3	4	4	4	4	4	4
		2	1	1	0	1	3	4	4	5	3	4
		3	1	1	0	2	4	4	4	4	4	4
		4	–	2	2	3	2	2	3	4	3	4
		5	1	1	1	2	–	–	1	1	2	–
		6	–	–	–	–	–	–	3	3	–	–
	Moyenne		*1,2*	*1,2*	*0,8*	*2,2*	*3,2*	*3,5*	*3,1*	*3,5*	*3,2*	*4,6*

– *Toutes les plantes montrant un arrêt ou ralentissement de croissance sont exclues des observations.*

Tableau XXVI :

Indices moyens de chlorose des hybrides pêchers x amandiers GF 557, des amandiers R 486 greffés sur pêchers GF 305,et des pêchers GF 305 végétant sur leurs propres racines, tous alimentés avec une solution nutritive contenant deux fois plus de fer et vingt fois plus d'éligoélément que la solution nutritive ordinaire (Essai 4).

a) pêchers x amandiers GF 557 en comparaison avec les pêchers GF 305 (moyenne de 5 répétitions).

Date d'observation année 1970	24,6	1.7	8.7.	6.7
Pêchers GF 305 sur pêchers GF 305	0,0	2,8	3,0	3,0
Pêchers x amandiers GF 557 sur pêchers GF 305	0,0	1,8	2,6	3,2

b) Amandier R. 486 en comparaison avec pêchers GF 305, moyenne de 3 répétitions.

Date d'observation année 1970	24,6	1.7	8.7	6.7
Pêchers GF 305 sur pêchers GF 305	0	3	3	3
Amandiers R 486 sur pêchers GF 305	1	1	0	0

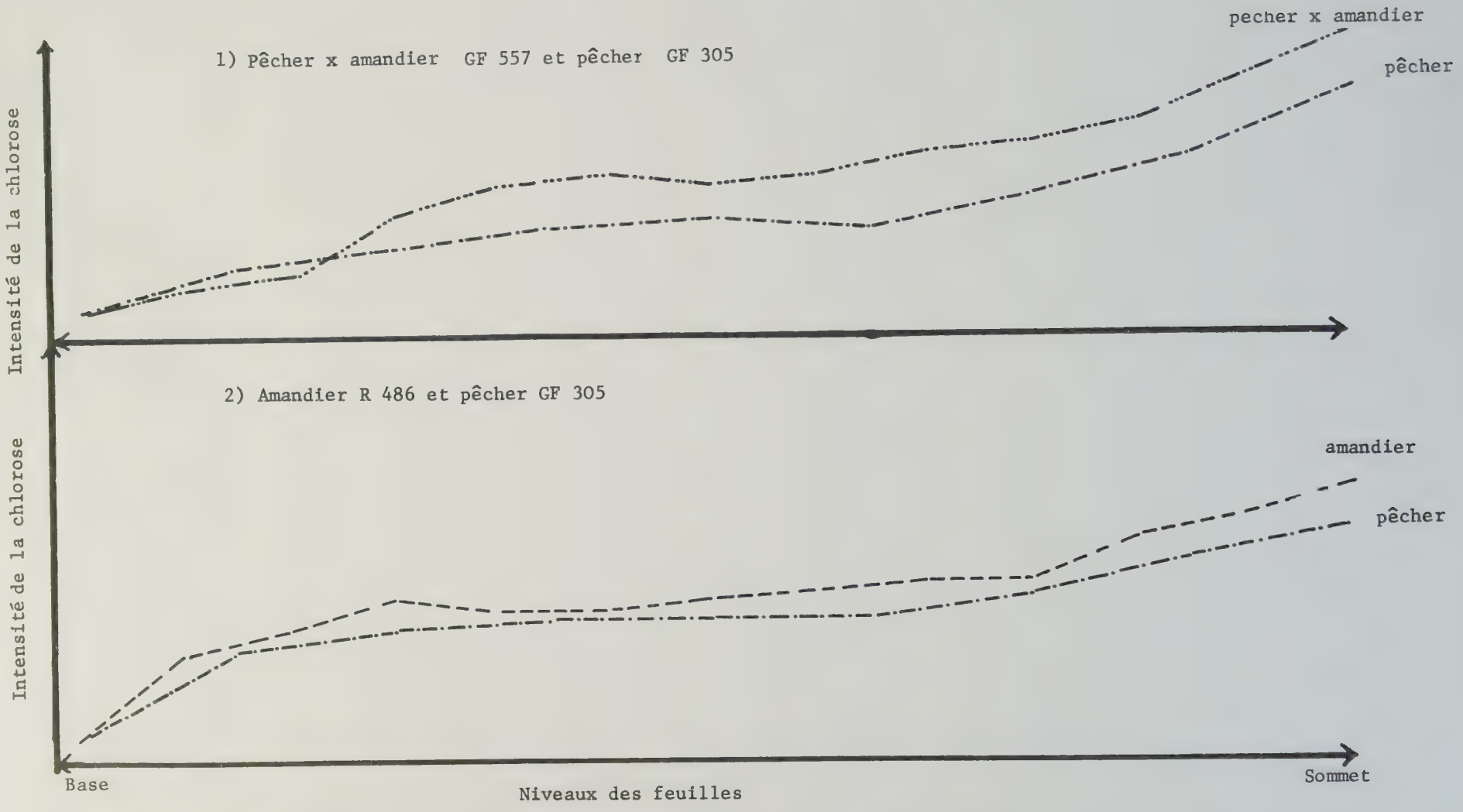


FIGURE 23 : Evolution de l'intensité de la chlorose chez les amandiers R 486 et pêchers x amandiers GF 557 greffés sur pêcher GF 305, comparés avec le pêcher GF 305 sur ses propres racines, et alimentés avec une solution nutritive carencée en fer (culture sur gravier).

FIGURE 24 : Nourris avec une solution nutritive carencée en fer, les pêchers x amandiers et amandiers greffés sur pêchers GF 305 chlorosent plus que les pêchers GF 305 sur leurs propres racines. Les pêchers x amandiers greffés sur pêchers chlorosent plus que les pêchers x amandiers sur leurs propres racines.

FIGURE 24 (suite)

FIGURE 24 (suite) : Dans un milieu calcaire où il n'y a pas la "carence absolue" de fer, mais où il y a une carence physiologique, les pêchers greffés sur pêchers chlorosent plus que les amandiers et les pêchers x amandiers greffés sur pêchers.

DISCUSSION .

Il est intéressant de constater le comportement, à première vue contradictoire des amandiers et hybrides pêcher x amandier greffés sur pêchers en ce qui concerne leur sensibilité à la chlorose :

Par rapport aux pêchers greffés sur pêchers (ou aux pêchers non greffés) :

a) ils chlorosent plus en culture sur gravier avec solution nutritive carencée en fer (essai n°1)

b) ils chlorosent moins en terrain chlorosant (sol calcaire par exemple ou autres)

c) ils chlorosent également moins en milieu artificiel avec solution nutritive non carencée en fer mais très enrichie (10 fois la normale) en oligo-éléments .

On peut en déduire que, par rapport au pêcher, l'amandier a un feuillage qui nécessite plus de fer pour sa croissance ou qui le transporte plus facilement vers les sommets en croissance, ceci semble confirmé par nos essais de nutrition avec le fer marqué, où nous avons constaté une montée plus abondante en fer que chez le pêcher .

En terrain chlorosant, où généralement le fer ne manque pas, mais où sa pénétration dans les plantes est difficile, on doit admettre que la présence d'un feuillage amandier accroît le pouvoir d'absorption du fer de la racine pêcher . On a déjà démontré que d'autres caractéristiques de la racine pouvaient être modifiées par la nature de la variété ou espèce greffée . En présence d'excès d'oligo-éléments, la pénétration du fer dans la racine pêcher est perturbée, comme dans le cas des sols calcaires, et la présence d'un feuillage amandier sur ce système racinaire améliore également les possibilités d'absorption .

On peut conclure que l'absorption du fer par le système racinaire est liée à son pouvoir de concentration des ions fer dans les radicelles . Ce pouvoir plus intense chez les racines des espèces résistantes comme l'amandier permet :

a) une meilleure extraction dans les sols chlorosants où la pénétration de fer est rendue difficile ,

b) un meilleur prélèvement du fer dans les solutions partiellement carencées .

Une deuxième caractéristique des espèces résistantes à la chlorose semble être une consommation de fer légèrement plus intense des parties aériennes et une aptitude meilleure pour le déplacement du fer et son transport des racines vers les pousses en croissance . Cette double caractéristique liée à la nature du feuillage a des répercussions non négligeables sur les possibilités d'absorption du fer par les racines (comme le montrent les essais de greffage) .

On peut ainsi proposer une explication cohérente aux diverses observations agronomiques et expérimentales concernant l'incidence des interactions "greffon-porte-greffe" en ce qui concerne la chlorose du greffon (ces interactions sont particulièrement marquées dans certaines combinaisons interspécifiques) . L'intensité du phénomène d'absorption et de concentration du fer, caractéristique de la racine, semble bien pouvoir être en partie modifiée (en plus ou en moins) par la nature du feuillage du greffon suivant son aptitude (élevée ou faible) pour le transport de cet élément .

CONCLUSIONS DE LA DEUXIEME PARTIE

1°- Nous avons cherché à comprendre pourquoi certains plants résistent mieux à la chlorose ferrique que d'autres . Nous avons observé, grâce à l'utilisation de fer marqué, que les espèces étudiées tendent à constituer une réserve importante de fer dans leur racine , cependant les espèces résistant à la chlorose ferrique ont une réserve beaucoup plus importante que les espèces sensibles .

2°- La quantité de fer se déplaçant vers les feuilles représente seulement une petite fraction de celle trouvée dans les racines . Les espèces résistant à la chlorose présentent :

a) un meilleur pouvoir d'accumulation et de concentration du fer dans les racines ,

b) des pousses feuillées en croissance qui prélèvent sur les racines beaucoup plus de fer que celles des espèces sensibles . A l'intérieur d'une espèce (pêcher ou hybrides pêcher x amandier , par exemple) , les variétés (lignées et clônes) qui résistent mieux à la chlorose ferrique sont celles qui transportent mieux le fer des racines jusqu'aux feuilles . On n'a pas observé de différence appréciable en ce qui concerne leur pouvoir d'accumulation du fer dans les racines .

La distribution des zones chlorotiques d'une pousse feuillée chlorosée d'une part, et la distribution du fer dans les pousses alimentées avec cet élément marqué d'autre part, se montrent tout à fait analogues .

3°- Utilisant d'une part des cultures hydroponiques sur gravier, et d'autre part des cultures dans des sols plus ou moins chlorosants , nous avons réalisé des observations sur le comportement de combinaisons de greffes pour lesquelles une espèce sensible à la chlorose était utilisée comme porte-greffe et une espèce résistante comme greffon .

On a ainsi pu discerner que pour la chlorose ferrique, deux phénomènes différents semblent jouer :

a) l'absorption et la concentration du fer par les racines,

b) le prélèvement de ce fer par les pousses feuillées en croissance.

Les espèces résistant à la chlorose ferrique, comme l'amandier, présentent une aptitude élevée pour cette absorption et ce prélèvement . Mais , l'amandier greffé sur racine de pêcher peut prélever plus de fer que ne le ferait un pêcher greffé sur le même porte-greffe pêcher quand il n'y a pas dans le milieu "carence vraie" en fer (cas des sols calcaires ou des solutions nutritives ayant un déséquilibre ionique) . D'autre part, les racines de pêcher ne peuvent faire face à tous les besoins du feuillage d'amandier (qui chlorose alors) quand il y a dans le milieu une carence en fer "fondamentale" .

CONCLUSIONS GENERALES

A la suite de nos études, nous émettons une hypothèse concernant la nature de la chlorose . Nous dégageons par ailleurs l'essentiel de notre contribution dans le cadre des connaissances acquises sur ce sujet .

Depuis les travaux de GRIS (1843), plusieurs hypothèses ont été émises pour expliquer la carence en fer induite par les sols calcaires et son aggravation par de nombreux autres facteurs .

La plupart de ces hypothèses ont eu une valeur limitée , mais une idée très différente avait commencé à paraître dans les travaux de BROWN et de ses collaborateurs (1959) qui ont mis en évidence que les racines semblent se comporter comme des agents chelatants et sont capables de prélever du fer à partir du milieu solide, sans que celui-ci entre en phase ionique . Plus tard , WALLACE et ses collaborateurs ont étudié le comportement des plantes, des tissus végétaux et animaux, vis-à-vis des agents chelatants synthétiques .

Si nous rapprochons nos observations de celles de BROWN et de WALLACE, nous pensons pouvoir expliquer et relier nos divers résultats et observations .

Avant d'aller plus loin, rappelons d'abord brièvement quelques points de la chimie de la chélation en ce qui concerne la chlorose:

1°- Ligand : Dans nos études, plusieurs ligands sont impliqués dans le phénomène de la chlorose ferrique ; les plus remarquables sont HPO^{-}_{3} HCO^{-}_{3} , OH^{-} et H_2O .

Un ligand peut être considéré comme une "base de Lewis" (BAXTER et STEINER , 1959) c'est-à-dire qu'il a , soit des paires d'électrons dont il pourra disposer pour les combinaisons avec les métaux : exemples de ligands qui peuvent se trouver sur la matière organique du sol et capables de fixer des cathions :

H_2O avec 2 paires d'électrons ,

OH^- avec 3 paires d'électrons,

=O avec 2 paires d'électrons,

$-NH_2$ avec 1 paire d'électrons ,

SH^- avec 2 paires d'électrons .

2°- Métaux : surtout dans leur forme ionisée, ils peuvent être considérés comme des "acides de Lewis" c'est-à-dire qu'ils acceptent des paires d'électrons de ligands .

3°- Coordination: une coordination est une neutralisation généralisée des "acides de Lewis" avec les "bases de Lewis" .

4°- Chélation : c'est une coordination où il y a une structure cyclique réalisée entre les ligands et les métaux .

5°- Chélation compétitive : c'est une chélation dans laquelle plusieurs métaux entrent en compétition pour se combiner avec un ligand, et vice-versa, plusieurs ligands entrent en compétition pour se combiner avec un métal . Par exemple :

EDDHA avec K^+, Na^+; Zn^{++} et Fe^{++} , ou
EDDHA, EDTA, HEEDTA avec Fe .

Maintenant, rappelons l'essentiel de nos observations, avant d'émettre une hypothèse pour les expliquer .

1°- Des ligands comme le bicarbonate et OH^- induisent une carence en fer .

2°- Des ligands comme le phosphate induisent une carence en d'autres métaux .

3°- Des métaux comme Mn et Zn induisent une carence en fer.

4°- Des métaux, comme Mo et Cu induisent une carence en fer , Zn, Mn, etc . . .

5°- La présence des ions Na^+, Ca^{++} Cl^-et SO_4^{--} n'a pas changé de façon appréciable l'intensité de la chlorose .

6°- Les plantes nourries avec des nitrates comme source d'azote sont plus susceptibles à la chlorose que les plantes nourries avec l'azote ammoniacal .

7°- Les systèmes racinaires des différentes espèces ont une aptitude différente d'absorption du fer .

8°- L'aptitude d'absorption du fer par les racines de diverses espèces utilisées comme porte-greffes, peut être modifiée par la présence d'une autre espèce ou variété greffon .

9°- Différentes variétés d'une même espèce peuvent avoir des aptitudes variées en ce qui concerne le transport du fer .

10°- La teneur en fer des feuilles est plus importante quand les feuilles sont vertes que lorsqu'elles sont chlorosées, dans la mesure où il s'agit d'une carence vraie en fer dans la solution nutritive dont les autres composants restent en quantité normale .

11°- La teneur en fer des feuilles de plantes alimentées avec une solution contenant 20 fois plus de fer que la normale n'est pas très supérieure à la teneur en fer des feuilles vertes alimentées avec une solution nutritive contenant une quantité de fer juste suffisante .

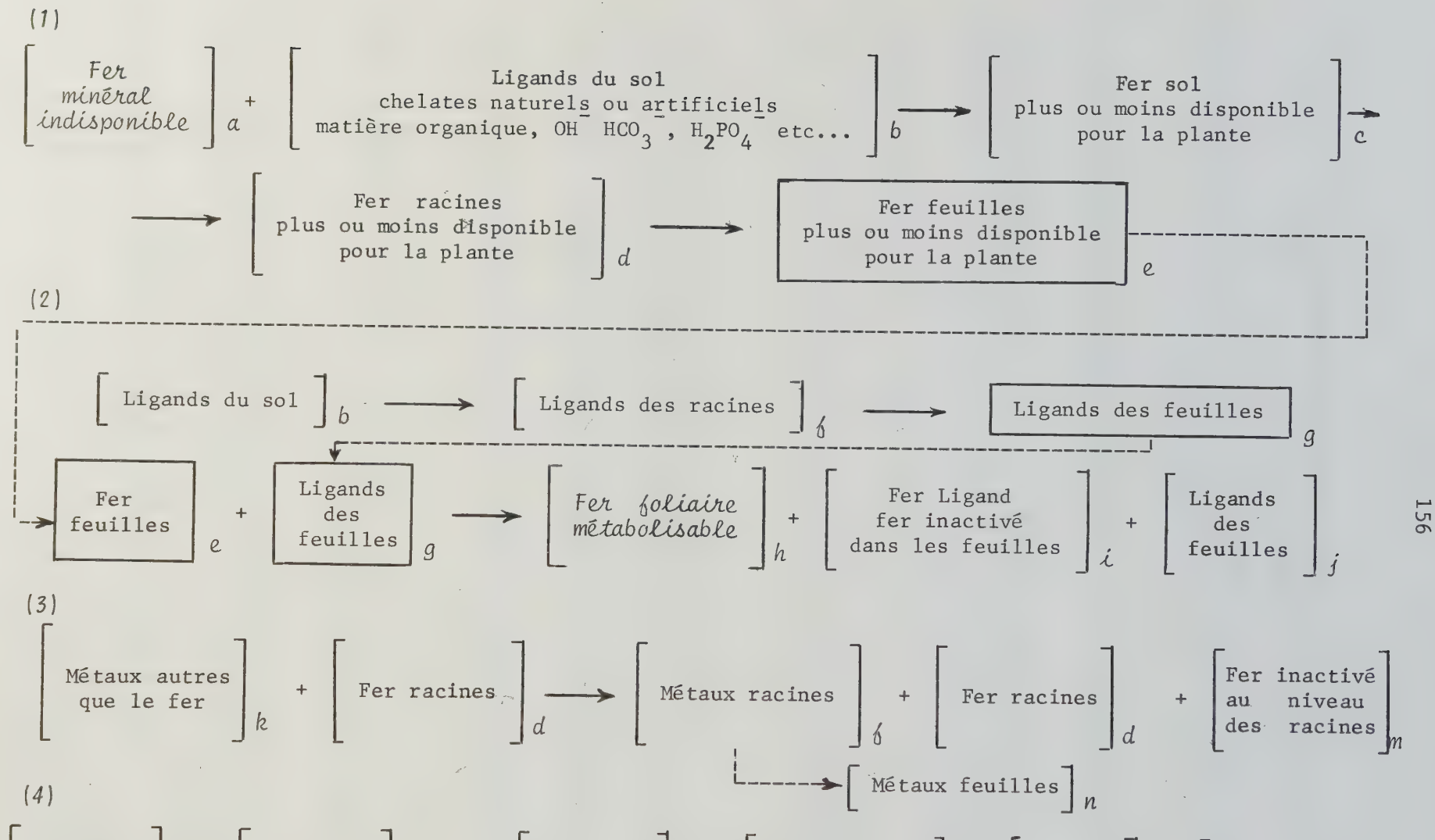
Tous ces phénomènes, ainsi que d'autres cités par divers auteurs peuvent être facilement expliqués par une seule hypothèse que nous proposons : la chlorose ferrique est le résultat de phénomènes de "chélation compétitive" et de "coordination compétitive" entre le fer et les ligands de la matière organique du sol, des cations du sol et des tissus racinaires et foliaires . Les points essentiels conduisant à cette hypothèse sont les suivants :

1°- Les autres métaux entrent en compétition avec le fer dans les divers "sites" d'absorption et d'utilisation de celui-ci au niveau des racines et des feuilles .

2°- Les "ligands" comme OH^-, $H_2PO_4^-$ et HCO_3^- , entrent en compétition pour le fer avec ceux que forment les sites d'absorption (racine) et d'utilisation (feuille) .

3°- Les chélates naturels ou artificiels entrent en compétition avec les "ligands" du sol d'une part et les racines d'autre part, pour la fixation du fer et des autres métaux (réaction de coordination) . Ce phénomène se poursuit au niveau des tiges et des feuilles .

Nous pouvons exprimer de façon schématique cette hypothèse, ainsi que l'évolution et les équilibres du fer depuis le sol, jusqu'aux feuilles .


(1)
Fer minéral indisponible a
+
Ligands du sol
chelates naturels ou artificiels
matière organique, OH⁻ HCO_3^-, $H_2PO_4^-$ etc... b
Fer sol
plus ou moins disponible
pour la plante c
Fer racines
plus ou moins disponible
pour la plante d
Fer feuilles
plus ou moins disponible
pour la plante e
(2)
Ligands du sol b
Ligands des racines f
Ligands des feuilles g
Fer feuilles e
+
Ligands des feuilles g
Fer foliaire métabolisable h
+
Fer Ligand fer inactivé dans les feuilles i
+
Ligands des feuilles j
(3)
Métaux autres que le fer k
+
Fer racines d
Métaux racines f
+
Fer racines d
+
Fer inactivé au niveau des racines m
Métaux feuilles n
(4)
Métaux feuilles n
+
Fer feuilles e
Métaux feuilles n
+
Fer foliaire métabolisable h
+
métaux o
+
Fer inactivé au niveau des feuilles p

Avec cette hypothèse, le comportement des plantes en présence d'excès d'ions bicarbonates, phosphates, hydroxydes (pH élevé) et métaux lourds est clair . On peut dire que c'est à cause de leur pouvoir supérieur de chélation que les racines de certaines espèces et variétés ont une meilleure aptitude à l'absorption du fer . Ce pouvoir de chélation peut être vraisemblablement quelque peu modifié sous l'influence des métabolites de certains systèmes foliaires (relation greffon-porte-greffe) . Une meilleure aptitude au transport du fer semble liée à un système plus efficace de chélation dans la tige .

De la même manière, on pourrait expliquer les autres observations citées ci-dessus ou d'autres signalées par les différents auteurs par exemple, l'incidence aggravante sur la chlorose ferrique de l'excès d'humidité, de l'excès d'agents chélatants (non combiné avec le fer) dans le sol .

Signalons enfin que, avec cette hypothèse, nous pouvons justifier et éventuellement améliorer la technique d'une sélection précoce des porte-greffes de pêchers et d'autres arbres fruitiers que nous avons proposée .

Nous pouvons également mieux comprendre que la chlorose ferrique due à l'abondance du calcaire ou à d'autres facteurs soit un seul phénomène ; ceci explique les observations agronomiques montrant qu'une même sélection peut se montrer résistante dans les deux cas .

A la fin de nos études sur la chlorose ferrique du pêcher et de ses porte-greffes, il est nécessaire de faire apparaître l'essentiel de notre contribution dans le cadre des connaissances existant sur ce sujet . De nombreux facteurs interfèrent avec les problèmes de chlorose et de nutrition ferrique ; leurs études posent des problèmes pratiques concernant :

a) L'homogénéïté des milieux de culture pour des plantes relativement encombrantes ,

b) L'homogénéïté et la reproductibilité rigoureuse du matériel végétal utilisé .

Pour satisfaire le mieux possible à ces deux exigences , nous avons d'une part utilisé un matériel végétal très homogène (semis de lignées de pêchers purifiées par autofécondation, boutures d'hybride de pêcher x amandier), et d'autre part, les conditions d'une serre moins irrégulières que celles d'un milieu naturel et l'application de solutions nutritives de composition déterminée .

1°- Nous avons commencé par préciser les caractères de la chlorose ferrique obtenue dans des cultures sur gravier alimentées par des solutions nutritives plus ou moins carencées en fer, et nous avons précisé le mode d'apparition et de disparition de la chlorose parallèlement aux changements apportés à la teneur en fer de la solution nutritive .

2°- Une échelle d'intensité de chlorose a été réalisée pour caractériser et repérer des symptômes allant depuis un très léger jaunissement de la feuille jusqu'à une nécrose de toutes les jeunes feuilles . Chaque échelon de l'échelle a été relié à une teneur en chlorophylle . Le rapport des chlorophylles A/B augmente avec l'intensité de la chlorose .

3°- Nous avons montré que les différences de réactions de plusieurs lignées de pêchers à une carence partielle en fer étaient bien parallèles à celles observées préalablement dans des sols naturels chlorosants (par excès de calcaire ou pour d'autres raisons) .

4°- Les caractères de la carence ferrique chez les jeunes pêchers sont très semblables à ceux décrits sur d'autres espèces que le pêcher . Nous avons constaté que la carence ferrique inhibe l'initiation des racines, mais que , lorsqu'elle se produit sur une plante normalement développée préalablement, elle affecte davantage les parties aériennes .

5°- Nous avons observé une perturbation de l'inhibition de corrélation des bourgeons végétatifs d'une pousse de pêcher chlorotique en croissance, le bourgeon terminal tend à entrer en dormance alors qu'un ou plusieurs bourgeons latéraux se développent de façon anarchique . Nous avons noté aussi qu'un apport brutal de fer à une plante très chlorosée provoque un développement brusque de nombreux bourgeons latéraux normalement dormants . La vigueur de ces nouvelles pousses latérales est proportionnelle à leur distance du bourgeon terminal . Il apparaît ainsi que la production des facteurs responsables de l'inhibition des bourgeons latéraux est réduite non seulement quand la plante est carencée en fer (comme cela a été démontré par POUGET, 1965), mais encore, et de façon plus marquée, lorsque l'on reprend l'alimentation normale en fer .

Une alimentation pauvre en fer provoque chez la plante l'entrée en dormance d'un bourgeon terminal plutôt que chez les plantes alimentées normalement en fer . Ceci, suggère que le fer joue un rôle important, direct ou indirect, pour la synthèse des substances de croissance . Ce dernier point nous semble offrir une perspective intéressante de recherche .

6°- La chlorose ferrique dans les conditions de sols naturels se montre très capricieuse , il est très difficile dans ces conditions de prévoir son apparition, et surtout son intensité ; si la chlorose s'installe, il est difficile de modifier son intensité . C'est pourquoi nous avons mis au point une solution nutritive standard . Une concentration de 2,5 p.p.m. $\pm$ 1 p.p.m. de séquestrène de fer donne des conditions modérées et reproductibles de chlorose .

7°- Dans ces conditions, l'apparition et la disparition de la chlorose ferrique sont sous la dépendance de deux facteurs : l'un génétique, l'autre lié à la dose de fer utilisée . Si la dose est voisine de zéro, la différence dans la vitesse d'apparition due à des facteurs génétiques peut disparaître . Si la dose de fer est juste un peu en dessous des limites de la dose normale, les variétés les plus sensibles à la chlorose ferrique montrent des symptômes plus précocément que les variétés moins sensibles .

8°- Si le fer est brusquement et soudainement supprimé du milieu de culture, les symptômes de chlorose donnent d'abord aux plantes un faux aspect de vigueur induite, qui se traduit par le développement de feuilles anormalement grandes et longues et qui disparaît plus tard .

9°- Dans les conditions culturales, de nombreux éléments nutritifs et facteurs chimiques induisent la chlorose ferrique . Un des mieux connus est le pH du sol . On a souvent considéré qu'il provoquait des changements chimiques dans le sol et dans les tissus de la plante . Notre contribution à ce sujet a été de montrer que le niveau élevé du pH chez les jeunes pêchers a un effet néfaste qui n'est pas visible immédiatement . Par la suite, même si ces plantes sont lalimentées de façon normale, cet effet d'une concentration élevée d'ions OH^- , pourtant appliqué préalablement, devient évident . Par la suite, nous avons pu montrer que les dégâts dûs aux ions OH^- sont nettement plus dangereux si l'approvisionnement en fer est insuffisant .

10°- Ces études montrent que le fer joue un rôle important en ce qui concerne l'initiation racinaire, la production des facteurs de croissance, la croissance et le développement des tissus foliaires et même la tolérance aux toxines de la décomposition racinaire . Nous pouvons conclure que le rôle du fer dans le métabolisme de la plante est plus important qu'on ne l'a considéré jusqu'ici .

11°- Une étude systématique de tous les facteurs connus ou suspectés pour provoquer une chlorose ferrique chez les plantes a été réalisée :

a) en présence d'excès de phosphore, on a obtenu des symptômes de carence en fer et zinc et peut-être aussi en d'autres micro-éléments .

b) en présence d'excès de molybdène on a obtenu d'une façon certaine une carence en fer et zinc et en autres métaux lourds ;

c) en présence d'un excès de cuivre, on a obtenu seulement de faibles symptômes de carence en fer et en zinc, celles de zinc disparurent plus tard .

d) un excès de zinc et de Mn a donné des symptômes typiques de la chlorose ferrique .

e) un rapport K sur Ca plus élevé que dans la solution nutritive ordinaire provoque une carence en fer .

f) les doses élevées de chlorures et sulfates n'ont donné aucun symptôme de carence en fer .

g) L'ion Ca^{++} pour les doses essayées, n'a pas eu un effet sur la carence en fer, par contre, l'ion HCO^{-}_{3} a provoqué des symptômes très graves de chlorose ferrique .

h) Quand la concentration en fer et les autres oligo-éléments dans le milieu de culture est beaucoup augmenté (20 fois dans nos essais) la teneur en fer dans les feuilles n'augmente pas autant (une fois et demi) .

Tous ces résultats peuvent être expliqués par l'hypothèse que nous avons proposée pour expliquer le phénomène de chlorose ferrique .

12°- Ayant à l'esprit que l'absorption, l'utilisation du fer ainsi que la chlorose ferrique sont des questions de coordination et de chelation compétitive au niveau des racines et des feuilles, il est apparu intéressant de caractériser grâce au fer marqué les plantes ayant une capacité différente de résistance à la chlorose ferrique .

Utilisant diverses espèces de Prunus, nous avons pu constater qu'il y a de fortes différences dans leur pouvoir d'absorption du fer au niveau des racines . Les espèces qui résistent le mieux à la chlorose sont celles qui, d'une part absorbent mieux le fer et d'autre part le transportent mieux . Parmi les différentes lignées de pêchers étudiées, nous n'avons pas pu distinguer de différence en ce qui concerne l'absorption par les racines, cependant l'aptitude au transport apparaît en relation directe avec la résistance à la chlorose .

13°- Au niveau d'une feuille, les tissus qui sont plus résistants à la chlorose sont ceux où le fer s'accumule davantage . Nous avons pu voir nettement une précipitation ou une inactivation du fer dans les tissus, en examinant les autoradiographies . Il ne semble pas que ces précipitations ont été réalisées après la mort de la plante, certaines autoradiographies ayant été réalisées dans un congélateur à -20° .

14°- Appliqué à la surface des feuilles, le fer ne semble pas se déplacer vers les autres parties de la plante, sauf à faible distance du point d'application et pour les éléments conducteurs de la sève .

15°- L'aptitude à l'absorption , au transport et à l'utilisation du fer peut être modifiée suivant les relations porte-greffes et greffon intra ou interspécifiques .

Des pêchers Earliglow, greffés sur pêcher GF 305 semblent mieux utiliser le fer que les pêchers GF 305 végétant sur leurs propres racines . Quand une espèce résistant à la chlorose est greffée sur une

espèce aussi sensible à la chlorose, on observe que le comportement d'une telle association n'est pas le même sur un milieu carencé en fer que sur un milieu chlorosant mais non carencé en fer (carence physiologique) .

On a observé qu'un feuillage d'amandier semble faciliter le prélèvement du fer d'un système racinaire pêcher (le feuillage amandier facilite la chélation et la coordination compétitive des racines de pêcher) .

16°- Nos travaux nous ont amené à proposer une hypothèse explicative de la chlorose ferrique concernant les divers facteurs qui provoquent cette maladie . L'hypothèse proposée est en liaison avec la chimie de la chélation (réactions de type covalence de coordination). Avec cette explication, nous pouvons dire que "la chlorose ferrique est le résultat de phénomènes de chélation compétitive et de coordination compétitive entre le fer du sol, la matière organique du sol, les cations du sol, et les tissus racinaire et foliaire" .

17°- Nos différents travaux nous permettent de proposer une méthode précoce, rapide et systématique d'évaluation de la résistance à la chlorose ferrique de différentes affections de porte-greffes et de variétés de pêchers . Nous pouvons également, avec cette méthode , déterminer l'aptitude des porte-greffes résistants à transférer leur résistance au greffon et enfin contribuer à résoudre le difficile problème de la culture de cette espèce dans des sols moins favorables .

SUMMARY

With young grafted and ungrafted plants of peach and its various rootstocks e.g. peach-almond hybrids, almonds and plums, experiments were conducted in glass house and field with sand and water culture as well as by using different types of soils. The experiments in the glass house last for three years while in the field for a period of five years.

A method has been described to predict iron chlorosis resisting power of peach plants by making the young trees to grow in sand culture with a sub-marginal dose of iron, which was found to be 2.5 p.p.m. of sequestrene of iron (Fe-EDDHA) which in turn contains 5 % of iron. Frequently small modifications of this dose are necessary, which are of the order of $\pm$ 1 p.p.m. of sequestrene, in order to avoid too mild or too severe symptoms of the iron deficiency. A discussion giving *theortical justification of this method has been made.*

Using a wide range of grafted plant material it was found that the reaction of grafted plants can be determined with the same precision as of the ungrafted ones.

Contrary to common belief it was found that iron chlorosis was quite easy to be produced or make disappear by using quartz as the growth medium, even when it was not very rigorously washed.

Extensive experimentation on the various factors which cause or influence the iron chlorosis on calcareous soils , non calcareous soils and in nutrient solutions was done. Special considerations were given to factors like pH of the growth medium, effects of various cations and heavy metals, anions like bicarbonate, phosphate, etc... The effect of various viruses was also studied.

For the doses of phosphate studied 40 to 200 p.p.m. in the nutrient solutions, there was not a good relationship between the iron chloris and the dose. For calcium also we could not find a relationship between the various doses tried and the iron chlorosis intensities. In case of phosphates however complex metal deficiencies were

observed. A marked improvement in the plant health was observed because of high doses of iron chelate. Calcium excesses resulted in the stunted plant growth.

Of heavy metals induced iron deficiency and iron chlorosis most important thing noted was that manganese was as capable to induce the iron deficiency as Cu and Zn. It is suggested that the initial dose of Mn in the nutrient solution should be of the same equivalent concentration as that of the Zn and Cu, and not more as often is the case.

As result of chemical analysis of the leaves enough of evidence was observed, that heavy metals firstly hinder the absorption of iron by plants and secondly make it less usefull at the leaf level for the synthesis of leaf chlorophylle.

Bicarbonate was found to be, very toxique at a dose as small as one miligram equivalent per litre of the nutrient solution.

High pH was found to cause a damage to plants which was found to persist long after the treatment was stopped. It was also found that in presence of sufficient iron the damage was considerable reduced.

It was concluded that the iron chlorosis on calcareous as well as not calcareous soils can be effectively explained by the phenomenons of competitive co-ordination and competitive chelation occuring at the following levels.

1. in the growth medium
2. at the levels of nutients absorption
3. during conduction of the nutrients
4. at the level of utilisation of iron, i.e. leaves.

Various viruses inoculums were tried but nun could affect the iron chlorosis negatively or positively. An explaination of a possible reasons of this plants insentively is given.

Many details of the effect of iron chlorosis on the physiology of plant and its growth were studied. Of greated intrest was to remark that a sudden withdrawal of iron from the growth medium of peach plants game them a look of vigour. For the propre root initiation of peach plants, but more particularly that of peach-almond hybrid plants good concentrations of iron the growth medium are necessary. Howeve if a well established plant is subjected to iron deficiency the effect is more marked on the aerial parts rather than on the roots.

Iron was found to play an important role in the release of growth regulating chemical by the plants. It was noted that iron deficiency results in anachic type of central shoot dominence, where as a good elementation with iron of a iron starved plant results in

suddent burst into growth of too many buds. The vigour of the new shoots is proportional to their relative distance from the apical shoot.

Extensive experimentation was done on the absorption transport and the migration of iron using radioactive iron (Fe^{59}).

1. The plant species which resist the iron chlorosis were found to have a beeter absorption and transporting aptitude.

2. Within same specied it was found *that the varieties and strains which are resistant to iron chlorosis are those which have a beter translocation aptitude for iron.* In such cases no consistant iron absorption tendency could be observed.

3. Iron is fairly mobile from roots toward the leaves especially in the regions of new growth but for less in the contresence.

4. Iron absorption was found to be hindered when the roots were showing necrosis and poor respiratory activity or poor growth.

5. Plants which have entered into dormance show poor or no transport of iron upto the leaves, however such plants are show abnormally large concentrations of iron in the stem.

In an-other series of experiments it was noted that iron absoprtion and transport is not only a question of rootstock but also more than what is usually considered a question of the scion variety. *The type of scion used is involved in the complete alteration of the processes or iron chelation and coordination at the level of roots.*

As a result of theses series of experiments it seems to be clear that *absorption of iron by the roots and its transport towards the growing parts of the plant are two distinct phenomenons. Although these two processus are very much linked to one another they should be separately studied if the problem of iron chlorosis resistance or susceptibility are to be predicted or understood.*

In nutrient solutions a ionique disequiliblium in the growth medium can upset the absorption or utilisation of iron even when the iron is present in abundence. It is wery probable that a similar phenomenon takes place in the soil. In such soils a plant combination of almond scion on the peach rootstock is resistant to the iron chlorosis. But the peach on its own roots it is very much susceptible. As said already peach has poor iron absorption and transport system than the almond. Thus a iron chlorosis resisting. combination will be the one in which there is:

1. A root system (of the same species or a similar species) having a strong iron absorption power.

2. A leaf system which may be able to activate this root system into a strong fixer of iron if it is already not.

3. And/or a leaf system which has a good aptitude for transporting the iron from roots to leaves what so ever may be the iron absorption aptitude of the rootsystem.

BIBLIOGRAPHIE

1 - ABDULLA, I., and SMITH, M. S., 1963 - Influence of chelating agents on the concentration of some nutrients for plants growing in soil under acid and under alkaline conditions. J. Sci. Food Agric., 14:98-109.

2 - AGARWALA, J. C. and SHARMA, C. P., 1961 - The relation of iron supply to the tissue concentration of iron, chlorophyll and catalase in barley plants grown in sand culture. Plant. Physiol., 36:270-283.

3 - AGARWALA, S. C., SHARMA, C. P., and FAROOQ, S., 1965 - Effect of iron supply on growth, chlorophyll, tissue iron and activity of certain enzymes in maize and radish. Plant. Physiol., 40:493-9.

4 - AHMED, M. B., and TEWFIK, M., 1960 - The development of chlorosis of young Le Compte pear trees as related to the root-stock. Biol. Abstr. Soc. D, 1960 35, Abstr. 17, 250.

5 - AHMAD, S., 1961 - Iron chlorosis in citrus orchards. Punjab Fruit J., 36:52-3.

6 - ALEXANDER, A. G., 1965 - Sucrose-enzyme relationships in immature sugar cane treated with variable molybdenum, calcium, iron, boron, lead, trichloroacetic acid, betaglycerophosphate, and starch. J. Agric. Univ. P. R., 49:443-61.

7 - ALEXANDER, A. G., 1960 - Effect of varying nutrient levels on growth and enzyme activity of cauliflower. Diss. Abstr. 21 404-5 being L. C. card No. Mic. 60-2915 of 91 p.

8 - AMBLER, J. E., and BROWN, J. C., 1969 - Cause of differential susceptibility to zinc deficiency in two varieties of navy beans (Phaseolus vulgaris L.). Agron. J., 61 : 41-3

9 - AMOORE, J. E., 1962 - Participation of a non-respiratory ferrous complex during mitosis in root. Biochem. J., 83(1), suppl. pp. 2p-3p.

10 - ANDERSON, I., and EVANS, H. J., 1956 - Effect of manganese and certain other metals cations on isocitric dehydrogenase and malic enzyme activities in Phaseolus vulgaris. Plant Physiol., 31 : 22-28

11 - ANON, 1960 - Eléments mineurs nécessaires à la culture des agrumes. Fruits et Prim., 30 : 17-21

12 - ANON, 1959 - Chlorosis from virus and salt can be cured. Agric. Res. Wash. 8(3) : 11

13 - BACHY, A., BRIOLLE, C., et VILLEMAIN, G., 1962 - Etude de la fumure des pépinières de cocotiers en Côte d'Ivoire et au Dahomey. Oléagineux, 17:161-4.

14 - BADANIN, P. A. 1961 - " Chlorosis and measure for preventing it". Sadovodstvo, n° 6, pp 23-4.

15 - BADRINAS VANCELIS, P. 1960 - La chlorosis ferrica de los arboles frutales en suelos calcàreos. I. Application de los distintos métodos de diognostico, con especial refrencia al melocotonero (pêchers). II. correccion y tratamiento. Rev. Inst. agric. catal., 109:1-8, 33-45.

16 - BAKER, E. A., and CAMPBELL, R. I. 1967 - Effect of viruses on the pigment composition of apple bark and pear leaf. A. R. Long Ashton, 1966 pp 141-4.

17 - BAKR AHMAD, M., and TEWFIK, M. 1959 - The development of chlorosis on young Le Conte pear trees as related to the rootstock. Indian J. Hort., 16: 5-13.

18 - BALDACCI, E., and REFATTI, E. 1963 - " Two instances of iron chlorosis in pear trees ". Not. Mal. Piante, N° 64, pp 35-45.

19 - BAR-AKIVA, A. 1961 - Biochemical indication as a means of distinguishing between iron and manganese deficiency symptoms in citrus plant. Nature, 190: 647-8.

20 - BAR-AKIVA, A., and HEWITT, E. J. 1959 - The effect of trirodobenzoïn acid and urea on the response of chlorotic lemon (Citrus limonia) trees to foliar application of iron compounds. Plant. Physiol., 34: 641-2.

21 - BAR-AKIVA, A., and LAVON, R. 1968 - Peroxidase activity as an indicator of the iron requirement of citrus plants. Israel J. agric. Res., 18: 145-53.

22 - BARTLETT, R. J. 1961 - Iron oxidation proximate to plant roots. Soil Sci., 92, 6, pp 372-379.

23 - BARTHELET, J. et DROUINEAU, G. 1943 - La culture fruitière dans les sols calcaires. C. R. Acad. Agric., p. 539.

24 - BASS, S. T., HAMMER, C. L. and SELL, H. M. 1959 - Effect of 2-4 Dichlorophenoxyacetic acid on the mineral content of cranberry bean plants (Phasseolus vulgaris) . Qurt. Bull. Mich. agric. Exp. stat., 92, 43-6.

25 - BATRA, P. P. and MAIER, R. H. 1964 - Isolation and determination of the ferric iron chelate of ethylenediamine di (o-hydroxyphenylacetic acid) in plant tissues. Plant & Soil, 20: 105-15.

25 a - BAXTER, J. F. and STEINER, L. E. 1959 - Modern chemistry vol. 1. Prentiss hall, Inc. Eaglewood Cliffs, N. J.

26 - BAXTER, P., and BELCHER, R. 1955 - The role of the bicarbonate ion in lime induced chlorosis. Jour. Inst. of Agric., Sci. 21: 32-4.

27 - BEAR, F. E. (Editor) 1960 - Symposium on bicarbonates. Soil Sci., 89: 241-302.

28 - BEAR, F. E. (Editor) 1957 - Chelates in plant nutrition. Soil Sci. 84: 1-97.

29 - BEDRI, A. A., WALLACE, A., and RHOADS, W. A., 1960 - Assimilation of bicarbonate by roots of different plant species. Soil Sci., 89: 257-263.

30 - BELEY, J. - 1969 - Methode de dosage des oligo-éléments dans les échantillons végétaux (utilisés au laboratoire central d'analyses de l'Irat/Nogent). Agron. trop. Paris, 24: 305-310.

31 - BELL, W. D., BOCORAD L., and Mc ILLRATH W. J. 1958 - Response of the yellow-stripe maize mutant (ys_1) to ferrous and ferric iron. Bot. Gaz. 120: 36-39.

32 - BENDALL, D. S., RANSON, S. L. and WALKER, D. A., 1958 - Some effects of carbon dioxydebicarbonate mixtures on the oxidation and reduction of cytochrome C by Ricinus Mitochondria . Nature, 181, 133-134.

33 - BENEDICT, H. M., and SWIDLER, R., 1961 - Nondestructive method for estimating chlorophyll content of leaves. Science, 2015-16.

34 - BENNETT, M. D. - 1965 - Iron deficiency in the fruit garden . Gdnrs' Chron., 157 : 228 .

35 - BERGMAN, E. L., and BOYLE, J. S. - 1962 - Effect of tobacco mosaic virus on the mineral content of tomato leaves . Phytopathology, 52 : 956 - 7 .

36 - BERNETT, J. P. - 1945 - Iron in leaves . Soil Sci., 60, pp 91-105.

37 - BERNETT, J.P. - 1931 - The treatment of lime induced chlorosis with iron salts . Calif. Agric. Exp. Sta. Circ., Bul. 321 .

38 - BETREMIEUX, R., 1951 - Etudes expérimentales de l'évolution du fer et du manganèse dans les sols. Dunod Paris.

39 - BEYERS, E., PIENAAR, W.J. and TERBLANCHE, J.H. 1968 - " Seasonal trends in leaf composition of decidious fruits ". Dec. Fruit Gr., 18: 87-92.

40 - BEYERS, E., and PRINS, P.J.J., 1964 - Control of iron deficiency. Dec. Fruit Gr., 14: 271-6.

41 - BHAN, K.C. and others, 1960 - Possible rations of bicarbonate or CO_2 assimilation to cation accumulation by plant root. Soil Sci., 89: 276-84.

42 - BHANGOO, M.S., and WALLACE, A., 1956 - Inorganic composition of healthy and chlorotic macadamia leaves. Calif. Macadamia Soc. Yearbook, 2: 26-31.

43 - BIDDULPH, O., 1951 - Translocation of minerals in plants. In Mineral Nutrition of Plants, E. Truog, Editor. Univ. of Wisc. Press, Madison. pp 261-275.

44 - BIDDULPH, O., and WOODBRIDGE, C.G., 1952 - The uptake of phosphorus by bean plants with particular reference to the effects of iron. Plant Physiol., 27: 431-444.

45 - BINGHAM, F.T., 1963 - Relation between phosphorus and micronutrients in plants. Proc. Amer. Soc. Soil Sci., 27: 389-91.

46 - BINGHAM, F.T., 1961 - Nutrition studies with nature avocado trees in sand culture: a progress report. Yearb. Calif. Avoc. Soc., 45, 53-7.

47 - BLANC-AICARD, D. et DROUINEAU, G., 1955 - Capacité de saturation en calcium des porte-greffes de vigne et résistance à la chlorose calcaire. C.R. Acad. Sci., t. 241, pp 1614-1616.

48 - BOGDANOVA, N.S., 1962 - " The characteristics of root growth in healthy and chlorotic apple trees " . Vestn. sel'sk. Nauki 7 (12) : 87-91.

49 - BOLLE-JONES, E.W., 1955 - The interrelations of iron and potassium in the potato plant. Plant and Soil, 6 : 129-173.

50 - BOLLE-JONES, E.W., and NOTTON, B.A., 1953 - The relative proportions of the chloroplast pigments as influenced by different levels of iron and potassium supply. Plant & Soil 5, 1, pp 87-100.

51 - BINDRA, A. S. et BERNHARD, R. 1970 - Contribution à l'étude du phénomène de la fatigue des sols dans les cultures successives de pêchers. C. R. Acd. Agri. , 56 : 650-56.

52 - BOUHIER de L'ECLUSE, R., 1962 - " Practical may of preventing deficiences of magnesium, boron, zinc, ... " Pomol. franç., 4, 183-7.

53 - BOULD, C. - 1959 - New iron chelate shows promise. Grower , 52 : 455-9.

54 - BOULD, C., 1953-1955 - The use of iron chelats for the control of lime induced chlorosm in fruit. A. R. Long Ashton R. S. p. 91, Long Ashton , R. S. p. 37.

55 - BRADFIELD, R., 1941 - Calcium in the soil : physico-chemical relation. Proc. Amer. Soc. Soil Sci. , 6 : 8-15.

56 - BRANAS, J. - 1960 - Chloroses par sècheresse. Prog. agric. vitic. , 153 : 311-13.

57 - BRANTON, D., and JACOBSON, L., 1962 - Iron transport in pea plants. Plant Physiol. , 37 : 539-45.

58 - BRANTON, D., and JACOBSON L., 1962 - Iron localisation in pea plants. Plant Physiol. , 37 : 546-51.

59 - BROMFIELD, S. M., 1958 - The solution of γ MnO_2 by substances released from the soil and from the roots of oats and vetch in relation to manganese availability. Plant and Soil, 10 : 147-160.

60 - BROWN, J. C., 1967 - Differential uptake of Fe and Ca by two corn genotypes. Soil Sci. , 103 : 331-338.

61 - BROWN, J. C., 1961 - Iron chlorosis in plants. Adv. Agron. , 13 : 329-369.

62 - BROWN, J. C., 1960 - An evaluation of bicarbonate induced iron chlorosis. Soil Sci. , 89 : 246-7.

63 - BROWN, J. C., 1953 - The effect of the dominance of a metabolic system requiring iron or copper on the development of lime-induced chlorosis. Plant Physiol. , 28 : 495-502.

64 - BROWN, J. C., and HENDRICKS, S. B., 1952 - Enzymatic activities as indications of copper and iron deficiencies in plants. Plant Physiol. , 27, pp 651-660.

65 - BROWN, J. C., and HOLMES, R. S., 1956 - Iron supply and interacting factors related to lime-induced chlorosis. Soil Sci. , 82, 6, pp 507-519.

66 - BROWN, J. C., and HOLMES, R. S., 1955 - Iron, the limiting element in a chlorosis I. II. Plant Physiol., 30, 5, pp 451-462.

67 - BROWN, J. C., and HOLMES, R. S., 1955 - Iron supply and interacting factors related to lime-induced chlorosis. Soil Sci., 82 : 507-519.

68 - BROWN, J. C., HOLMES, R. S., SHAPIRO, R. E. and SPECHT A. W., 1955 - Effects of phosphorus and copper salts on iron chlorosis of rice in flooded and non-flooded soil and the associated anzymic activity. Soil Sci., 79 : 363-372.

69 - BROWN, J. C., HOLMES, R. J., and TIFFIN, L. O., 1961 - Iron chlorosis in soybeans as related to the genotype of rootstalk; 3. Chlorosis susceptibility and reductive capacity at the root. Soil Sci., 91 : 127-132.

70 - BROWN, J. C., HOLMES, R. S., and TIFFIN, L. O., 1959 - Hypotheses concerning iron chlorosis. Proc. Amer. Soc. Soil Sci., 23 : 231-234.

71 - BROWN, J. C., HOLMES, R. S., and TIFFIN, L. O., 1958 - Iron chlorosis in soybeans as related to the genotype of rootstalk, Soil Sci., 86, 2, pp 75-82.

72 - BROWN, J. C., and JONES, W. E., 1962 - Absorption of Fe, Mn, Zn, Ca, Rb, and phosphate ions by soybeans roots that differ in their reductive capacity. Soil Sci., 94, 3, pp 173-179.

73 - BROWN, J. C., LUNT, O. R., HOLMES, R. S., and TIFFIN, L. O. 1959 - The bicarbonate ion as an indirect cause of iron chlorosis. Soil Sci., 88, 5, 260-266.

74 - BROWN, J. C., and STEINBERG, R. A., 1953 - Iron and copper enzymes in leaf lamina of tobacco when deficient in micronutrients or grown on calcareous an organic soils. Plant physiol., 26, 488-94.

75 - BROWN, J. C., and TIFFIN, L. O., 1965 - Iron atress as related to the iron and citrate occuring in stem exudate. Plant physiol., 40, 395-400.

76 - BROWN, J. C., and TIFFIN, L. O., 1962 - Iron chelate in soybean exudate. Science, 135, 3500.

77 - BROWN, J. C., and TIFFIN, L. O., 1960 - Iron chlorosis in soybeans as related to the genotype of rootstock : 2. A relationship between susceptibility to chlorosis and capacity to absorb iron from iron chelate. Soil Sci., 89 : 8-15.

78 - BROWN, J. C., TIFFIN, L. O., and HOLMES, R. S., 1960 - Reductive capacity of roots and competition between chelating agents and roots as factors affecting the absoption of iron by plant species. Plant physiol., 35, 878-86.

79 - BROWN, J. C., TIFFIN, L. O., SPECHT, A. W., and RESNICKY, J. W., 1961 - Iron absorption by roots as affected by plant species and concentration of chelating agent. Agron. J., 53:81-90.

80 - BROWN, J. C., TIFFIN, L. O., HOLMES, R. S., SPECHT, A. W., and RESNICKY J. W., 1959 - Internal inactivation of iron in soybeans as affected by root growth medium. Soil Sci., 87, 2, pp 89-94.

81 - BROWN, J. C., YAMAGUCHI, S., and LEAL-DÏAZ, J., 1965 - Evidence for translocation of iron in plants. Plant physiol., 40:95-8.

82 - BROWN, J. C., and WADLEIGH, C. H., 1955 - Influence of sodium bicarbonate on the growth and chlorosis of garden beets. Bot. Gaz., 116, 3, pp 201-209.

83 - BUKOVAC, M. J., and WITTWER, S. H., 1961 - Absorption and distribution of foliar applied mineral nutrients as determined by radioisotopes. 215-230. In W. Reuther (ed.) Plant analysis and fertilizer problems. Amer. Inst. Biol. Sci. Wash., D. C.

84 - BURKE, E., 1932 - Chlorosis of trees. Plant physiol., 7:329-334.

85 - BURSTRÖM, H. G., 1968 - Calcium and plant growth. Biol. Rev., 43:287-396.

86 - BURSTRÖM, H. G., and TULLIN, V., 1957 - " Observations of chelates and root growth ". Physiologia plantarum 10:406-417.

87 - BURTCH, L. M., THORNE, D. W., and WANN, F. B., 1948 - The effect of light soil temperature, and soil moisture on high--lime chlorosis. Proc. Amer. Soc. Soil Sci., 13:394-398.

88 - BUSLOVA, E. D., 1946 - " Study of plant chlorosis for the clarification of the role of iron in the synthesis and accumulation of chlorophyll ". Trudy Inst. Fiziol. Rastenii, 4:154-160.

89 - CAIN, J. C., 1952 - A comparison of ammonium and nitrate nitrogen for blueberries. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 59:161-166.

90 - CAIN, J. C., 1954 - Blackberry chlorosis in relation to leaf pH and mineral composition. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 64:61-70.

91 - CAIN, J. C., and HOLLEY, R. W. 1955 - A comparison of chlorotic and green blueberry leaf tissue with respect to free amino acid and basic cation contents. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 65:49-53.

92 - CANDELA, M. L., and HEWITT, E. J., 1957 - Molybdenum as a plant nutrient. IX. The effect of different molybdenum and manganese supplies on yield and on the uptake and distribution of molybdenum in tomato plants growing in sand culture. J. Hort. Sci., 32 : 149-161.

93 - CANDUSSIO, R., 1959 - " Report on the work of the Institute of Experimental Agricultural Chemistry (Gorizia) in the two years 1957-1959 " . Pubbl. Ist. chim. agrar. sper. Gorizia, Ser. , 2 A, 13, pp 113.

94 - CANNEL, G. H., BINGHAM, F. T., and GARBER, M. J., 1960 - Effect of irrigation and phosphorous on vegetative growth and nutrient composition of tomato leaves. Soil Sci., 89:53-60.

95 - CARLES, J., LATTES, F., et ALQUIER-BOUFFARD, A., 1963 - Des effets de la chlorose calcaire sur la répartition des acides organiques et des éléments minéraux, et de l'importance du pétiole dans cette répartition. Bull. Soc. franç. physiol. vég., 9 : 165-74.

96 - CARLSON, W. H., COHAN, S. M., and CRAIG, R., 1966 - Flower initiation in Pelargonium X Hortorum as related to foliar mineral content. Proc. 17 int. hort. Congr. Md. 1966 - 1, Abstr. 217.

97 - CARLSEN, G. H., SMITH, R. L., and WIEBE, H. H., 1957 - Relationship of bicarbonate concentration of plant tissue to that of the growth medium as a factor in chlorosis. Plant physiol., 32 (Suppl.) : 22.

98 - CARPENA, O., GUILLEN, M. G., et COSTA, F., 1959 - Deficiencia de manganeso en citrus. 1. Limonero. An. Edafol fisiol. veg., 18 : 756-82.

99 - CARPENA, O., SANCHEZ, F., J. A., et HERNANDEZ, R., 1963- Riego par aspersión sobre limoneros de varias edades. Edafol. Agrobiol., 22 : 491-9.

100 - CATTANI, R. A., 1964 - Intercellular distribution of iron and iron enzymes in chlorotic and non-chlorotic tomato plants. Diss. Abstr. , 25 : 581-2 being order n° 64-4762 of 235 pp.

101 - CHABANNES, J., DUPRAT, A., TROCME, S., 1958 - Observations sur le traitement de la chlorose des poiriers. C. R. Acd.Agri., 46.

102 - CHABEREK, S. and MARTELL, A. D., 1959 - Organic Sequestering Agents. John Wiley and sons, Inc., New-York.

103 - CHAPMAN, H. D., 1939 - Absorption of iron from finely ground magnetite by citrus seedlings. Soil Sci., 48 : 309-315.

104 - CHARPENTIER, J. M., et MARTIN-PREVEL, P., 1967 - Culture sur milieu artificiel. Etude des carences minérales chez l'avocatier. 1. Croissance et symptômes. Fruits d'Outre-Mer, 22 : 213-33.

105 - CLARK, R. B., and WALLACE, A., 1962 - Effect of bicarbonate on pH in plant roots. A Decade of Synthetic Chelading Agents in Inorganic Plant Nutrition. Edited by A. Wallace, Los Angeles 64, California, p 35.

106 - CLARK, R. B., et al., 1960 - Behavious of bicarbonate and Sr^{85} in oils . Soil Sci., 89 : 292-5.

107 - COÏC, Y., LESAINT, C., et PAPIN, J. L., 1964 - Comparaison des tissus chlorophylliens ou non chlorophylliens (albinisme) quant aux anions et cations chez le marronier panaché (Aesculus hyppocastanum) et l'érable panaché (Acer negundo). Ann. physiol. veg., 6 : 17-24.

108 - COLGROVE, M. S., Jr, and ROBERTS, A. N., 1956 - Growth of the azalea as influenced by ammonium and nitrate nitrogen. Proc. Amer. Soc. Hort., Sci., 68 : 522-536.

109 - COOPER, W. C., CORDELL, E., 1950 - Salt and Boron tolerance of shary red grape fruit and Valencia orange on sour orange and cleoptra mandrin root stocks. Proc. Ann. Rio. Grande Valley Hort. Inst., 4 : 58-79.

110 - COOPER, W. C., GORTON, B. S., and OLSON, E. O., 1942 - Ionic accumulation in citrus as influenced by rootstock and scion and concentrations of salts and boron in the substrate. Plant physiol., 27 : 191-203.

111 - COOPER, W. C., and OLSON, E. O., 1951 - Influence of rootstock on chlorosis of young Red Blush grape fruit trees. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 57 : 125-132.

112 - COOPER, W. C., and PEYNADO, A., 1959 - Experimental control in citrus trees of iron chlorosis associated with the virus disease cacheita and high salinity by application of iron chelate. J. Rio Grande Valley Hort. Soc., 13 : 75-80.

113 - COOPER, W. C., PEYNADO, A., 1955 - Experimental control of iron chlorosis of citrus in some Rio Grande Valley soils with chelated iron and with gypsum. Proc. Rio Grande Valley Hort. Inst., 9 : 79-85.

114 - COOPER, W. C., and PEYNADO, A., 1954 - Screening citrus rootstock seedlings for tolerance to calcareous soils. Proc. Ann. Rio Grande Valley Hort. Inst., 8 : 100-105.

115 - COORTS, G. D., 1958 - Excess manganese nutrition of ornamental plants. Res. Bull. Mo. agric. Esp. Stat., 669, pp 35.

116 - CORIN, C., et coll., 1959 - Contribution à l'étude de la nutrition minérale des arbres fruitiers au moyen des isotopes radioactifs. Biol. Abstr., Sect. D, 34.

117 - CORREA VELASQUEZ, J., 1964 - " Effect of iron on the development of plant roots ". Rev. Fac. Nac. Agron. Medellin, 24: 27-52

118 - CRAWFORD, R. F., 1939 - The causes and control of chlorosis in New Mexico. New Mexico sta. Bul., 264.

119 - CROOKE, W. M., 1955 - Further aspects of the relation ship between nickel toxicity and iron supply. Ann. Appl. Biol., 43: 465-476

120 - CROOKE, W. M., and KINGHT, A. H., 1955- The relationship between nickel toxicity symptoms and the absorption of iron and nickel. Ann. Appl. Biol., 43: 454-464

121 - DE KOCK, P. C., 1960 - The effects of natural and synthetic chelating substances on the mineral status of plants. Trans. 7th int. Congr. Soil. Sci., Madison., 3: 573-9.

122 - DE KOCK, P. C, 1958- The nutrient balance in plant leaves. Agron. Progr., 33: 88-95

123 - DE KOCK, P. C., 1957- The metabolism of chlorotic leaves. Biochemical Journ. 70, 272-277

124 - DE KOCK, P. C., 1955- Chlorosis and the iron nutrition of plants. Intern. Biochem., Resume. Comm., 3rd Congress, Brussels

125 - DE KOCK, P. C., 1955 - Iron nutrition of plants at high pH. Soil Sci., 79: 167-175 .

126 - DE KOCK, P. C., and MITCHELL R. L., 1957 - Uptake of chelated metal by plants . Soil Sci., 27 . 84; 55-62 .

127 - DE KOCK, P. C., HALL, A., 1955- The phosphorus-iron relationship in genetical chlorosis. Plant Physiol., 30: 293-295

128 - DE KOCK, P. C., and INKSON, R. H. E., 1962 - Manganese content of mustard leaves in relation to iron and major nutrient supply. Plant. and Soil., 17: 183-90.

129 - DE KOCK, P. C., and MORRISON, R. I., 1958- The metabolism of chlorotic leaves. 2. Organic Acids. Biochem. Jour., 70: 272-77

130 - DELAP, A. V., 1964 - Studies in the nutrition of apple rootstocksII. Effects of concentration of iron in the nutrient solution on growth and chlorophyll content. Ann. Bot. Lond., 28: 591-605

131 - DELAS, J., and MOLOT, C., 1968 - Traitement de la carence en magnésium dans le vignoble bordelais. Résultats de quatre ans d'essai. C.R. Acad. Agri., 54: 279-90

132 - DELMAS, H.G., BERNHARD, R., 1951 - La carence en zinc des arbres fruitiers. Bulletin Technique d'information, 60: 365-75

133 - DELMAS, J., BATS, J., et REMY, P., 1957 - Carence en manganèse induite par excès de phosphore sur Pêcher en solution nutritive. C.R. Acd. Sci., 244: 1971-4

134 - DELMAS, J., BATS, J., et MARENAUD, C., 1958. C.R. Acd. Agric. 792-795

135 - DELVER, P., DRIESSEN, J.S.C., and TENCATE, H.R., 1969- " Well water. Iron filtration and overhead irrigation. " Fruitteelt ., 59: 550-2

136 - DEMETRIADES, S.D, 1956 - Chromatographic detection of free amino-acids in normal and iron deficient plants of Hibiscus esculentus L. Nature., 177: 95

137 - DEMETRIADES, S.D., GAVALAS, N.A., and PAPADOPOULOS, S.E, 1964- " Trials for the control of lime-induced chloroses in fruit trees in Greece. I. Preliminary observations on peach and lemon trees." Ann. Inst. phytopath. Benaki., 7: 28-36

138 - DEMIDENKO, T., 1937. - " Iron in the nutrition of higher plants." Compt. Rend. Acad., Sci. URSS, p. 267, V. Bibl. Lit. Min. El. V, I. p. 902

139 - DEMOLON, D., et BATISSE, 1938 - La migration du fer dans les sols. Compt. Rend. 18e Congr. Nancy., P. 154

140 - DEREMER, E.D., and SMITH, R.L., 1961 - The effects of chelates and chelated cations in increasing the availability of phosphorus from insoluble sources. Proc. Amer. Soc. Hort., Sci., 77: 513-19

141 - DIEZ ALTARES, M., DEL, C., 1959 - " Photochemical decomposition of chlorophyll in cases of iron deficiency." An. Estac., exp. Aula Dei, 6: 1-80

142 - DIMZA, I., 1959 - " The effects of microelements on the chlorosis of apple trees." Augsne un Raza., 9: 221-32

143 - DIMZA, I., 1959- " Spraying apples with a solution of microelements." Vest. Zin. Akad. LatvPSR, No., 7, 149-56

144 - DONEY, R.C., SMITH, R.L., and WIEBE, H.H., 1960 - Effects of various levels of bicarbonate, phosphorus, and ph on the translocation of floliar applied iron in plants. Soil Sci., 89: 269-75

145 - DROUINEAU, G., 1963 - La chlorose calcaire. Bull. Soc. Franç. Physiol. vég., 9: 151-65

146 - DROUINEAU, G., 1943 - Les formes du calcium dans les tissus végétaux atteints de chlorose spécifique des sols calcaires. Sté Chimie Biologique, 25, 4, 1336-1337

147 - DROUINEAU, G., 1942 - Résistance au calcaire des porte-greffes d'arbres fruitiers. Ann. Agron., 441

148 - DROUINEAU, G., 1942 - Dosage rapide du calcaire actif dans les sols. Ann. Agron., 441-450

149 - DROUINEAU, G., et GOUNY, P., 1952 - La mesure du pouvoir chlorosant des sols calcaires. Bull. A. F. E. S., n° 29, p 21.

150 - DUCHAUFOUR, P., 1960 - Notes sur l'origine de la chlorose de certains conifères sur sol calcaire. Soc. Botan. de Fr., 107, 8-12.

151 - DUNCAN, D. B., 1955 - Multiple-range and multiple-F tests. Biometrics, 11: 1-42.

152 - DURANTON, H., et SCHANTZ, R., 1964 - Incorporation des atomes de carbonne de la proline dans le molécule de chlorophylle chez Chorella pyrenoidisa. C. R. Acad. Sci., 257, 4115-4117.

153 - EARLY, E. B., 1943 - Minor element studies with soybeans. I. Varietal reaction to concentration of zinc in excess of the nutritional requirement. J. Amer. Soc. Agron., 35: 1012--1023.

154 - EATON, F. M., 1936 - Automatically operated sand culture equipment. Jour. Agri. Research, 53: 433-444.

155 - EDDINGS, J. L., and BROWN, A. L., 1967 - Absorption and translocation of foliar applied iron. Plant physiol., 42:15-19.

156 - EGGERT, R., 1959 - Versenol chelates improve growth of clonally propagated apple trees. Down to Earth, 15 (2): 8-10.

157 - EMBLETON, T. W., LABANAUSKAS, C. K., and BITTERS, W. P., 1962 - The influence of certain rootstocks on the concentration of boron, iron, manganese and other elements in lemon leaves, and on boron toxicity symptoms. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 80: 285-90.

158 - EVTUSENKO, G. A., ans SPOTA, L. A., 1959 - " The intensity and qualitative trend of photosynthesis in chlorotic apple trees ". Fiziol. Rast., 6: 679-85.

159 - EYNARD, I., 1962 - " Studies on the absorption translocation and distribution of some radio isotopes (P32, Ca45, Fe59 and Cs137) " . Atli Accad. ital. vit. , 13:519-36.

160 - FATTA DEL BOSCO, G., 1967 - " Results of detailed studies on some peach rootstock in Sicily " . Fruitticoltura , 29:641-8.

161 - FISKELL, J.G.A., DIAMOND, R.B., and BRAMS, E.A., 1967 - Effect of soft rock phosphate upon citrus seedling roots and in soil. Soil Sci. Soc. Fla , 27:313-21.

162 - FOSTER, W.N.M., and RUSSEL, R.S., 1958 - Factors affecting the ability of plants to absorb phosphate from soils. III. Plant physiological effects of iron. Jour. of Soil Science, 9: 280-88

163 - GALET, P., 1947 - Résistance des porte-greffes à la chlorose. Progrès Agr. et Vit., n° 36, pp. 128-133

164 - GALLO, J.R., et RODRIGUEZ, O., 1960 - " Effects of certain soil management practices on the mineral nutrition of citrus". Bratagantia, 19: 345-60

165 - GANAI, M.A., 1953 - Chlorosis of aplles and its remedy. Pakistan Jour. Sci. Research., 5: 92-97

166 - GARTEL, W., 1965 - Uber die Ursachen der Chlorose auf verdischteten Kalkböden. Weinberg und Keller., 12: 143-63

167 - GASSER, R., et MULLER, C., 1956 - Les traitements contre la chlorose des plantes. C.R. Acad. Agric., 42 : 714-717

168 - GERLOFF, G.C., STOUT, P.R., and JONES, L.H.P., 1959 - Molybdenum - manganese - iron antagonism in the nutrition of tomato plants. Plant Physiol., 34: 608-13

169 - GEROLA, F.M., LALATTA, F., and CERVATO, G., 1962 - " Cytological observations on the leaves of untreated chlorotic peach trees and of the re-greened by treatment with mineral solution". G. bot. ital., 313-22

170 - GILE, P.L., and CARRERO, J.O., 1920 - Cause of lime-induced chlorosis and availability of iron in the soil. Jour. Agr. Res., 20: 33-62

171 - GILFILLAN, I.M., 1968 - Biochemical relationships in chlorotic leaves of macadamia (Macadamia tetraphylla) Johnson under conditions of iron and manganese deficiency. Diss. Abstr., Sect. B, 28: 3939

172 - GLAUSER, R., et JENNY, H., 1960 - Two phase studies on availability of iron in calcareous soils. III. Contact and exchange diffusion in ionic menbranes. Agrochimica., 5, I,

173 - GLAUSER, R., et JENNY, H., 1960 - Two phase studies on availability of iron in calcareous soils. I, II, Agrochimica, 4, 4, pp 263-287

174 - GLENISTER, P.R., 1944 - Effects of iron deficiency on respiration of sunflower plants. Bot. Gaz., 106: 33-40

175 - GOHLER, F., 1967 - " Investigations on the causes and prevention of growth injuries associated with the use gravel culture for several years. " Arch. Gaste., 15: 117-30

176 - GONZALEZ-STEILIA, de JUAN, E., and DOEN MOSSE, J., 1963- " Foliar analysis in the genus Citrus L. changes in the mineral element, contents in the leaves of Washington Navel oranges during 1962 season. " An. Inst. noc. Invest., Agron., Madrid., 12: 39-59

177 - GOSS, J.A., and ROMNEY, E.M., 1959 - Effects of bicarbonate and some other anions on the shoot content of P32, Ca45, Fe59, Rb86, Sr90, Ru106, Cs137, and Ce144 in bean and barley plants. Plant and Soil, 10: 233-241

178 - GOUIN, F.R., 1968 - New low cost iron for ornamental plants. Md Flor., No 141, pp 4-5

179 - GOUNY, P., et MAZOYER, R., 1953 - Relation entre la nutrition minérale et les symptômes pathologiques de la chlorose calcaire. Ann. Agron., 561-598

180 - GOUNY, P., et MAZOYER, R., 1951 - Influence du carbonate de calcium sur la nutrition minérale de Lupinus albus l. C.R. Acad. Sci., 233, p 1482

181 - GRANICK, S., 1951 - Biosynthesis of chlorophyll and related pigments. Ann. Rev. Plant Physiol., 115-144

182 - GRANICK, S., 1950 - The structural and functional relationships between heme and chlorophyll. The Harvey Lecture Series 44: 220-245

183 - GRIS, E., 1843 - Mémoire relatif à l'action des composés solubles ferrugineux sur la végétation. Acad. Sci. 17: 679

184 - GRUNES, D.L., et JENNY, H., 1960 - Two phase studies on availability of iron in calcareous soils. Agrochimica IV, 4, pp 279-287

185 - GUENNELON, R., 1962 - Les chelates de fer dans le traitement de la chlorose du poirier. C.R. Acad. Agric., 48: 209-12

186 - GUEST, P.L., and CHAPMAN, H.D., 1949 - Use of iron sprays dusts, and soil applications to control iron chlorosis of citrus. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 54: 11-21

187 - GUILLEN, M.G., FERNANDEZ, F.G., and CARO, M., 1965 - " Seasonal variations in nutrient contents of the leaves of fruits trees. I. Apricots". An. Edafol. Agrobiol., 24: 79-89

188 - GUMINSKI, S., GUMINSKA, Z., and SULEJ, J., 1965 - Effects of humate, agar, and EDTA on the development of tomato seedlings in aerated and non aerated water cultures. J. exp. Bot., 16: 151-62

189 - GUPTA, U.C., 1968 - Studies on the o-phenanthroline method for determining iron in plant materials. Plant and Soil., 28: 298-305

190 - HAAS, A.R.C., and ZENTYMER, G.A., 1946 - Treatment for chlorosis in lemon leaves. Calif. Citograph., 32(2): 48-64

191 - HAILE-MARIAM, S.N., 1966 - Mechanism of foliar penetration and translocation of mineral irons with special refrence to coffee (Coffea arabica L.). Diss. Abstr. sect. B, 27:664.

192 - HALE, V.Q., and WALLACE, A., 1960 - Bicarbonate and phosphorus effects on uptake and distribution in soy beans of iron chelated with ethyleneliamine dio hydroxyphenyl acetate. Soil Sci., 89:285-7.

193 - HALMA, F.F., and GOODALL, G.F., 1953 - Chlorosis in avocado. Calif. Agric. 7(8):11, 13.

194 - HALMA, F.F., and WHITE, F.A., 1953 - Chlorosis in avocado. Calif. Agric., 7(7):3, 14.

195 - HARLEY, C.P., and LINDNER, R.C., 1945 - Observed responses of apple and pear trees to some irrigation waters of north central Washington. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 46 : 35-44.

196 - HAVKIN, E.E., 1964 - " Iron accumulation in leaves as a function of age ". Doklady Akad. Nauk SSSR, 156 : 474-7.

197 - HENKE, O., and MIHATSCH, H., 1963 - " A contribution on the metabolism of chlorotic plants. I. Mineral metabolism. II. The relationship between metabolism and chlorophyll content ". Albrecth-Thaer-Arch. , 7 : 519-36 and 537-52.

198 - HERAS, L., 1960 - " Polyphenols in cases of induced iron deficiency ". An. Estac. exp. Aula Dei, 6 : 166-72.

199 - HERAS, L., 1960 (a) - " Influence of light intensity on the redox potential in leaves in cases of iron induced chlorosis ". Nature , 188 : 335-6.

200 - HERAS, L., 1960 (b) - " The redox potential in induced iron chlorosis ". An. Estac. exp. Aula Dei , 6 : 136-65.

201 - HERNANDO, V., et CONDE, S., 1958 - Influencia de la relacion Ca/K del suelo en el desarollo de la clorosis ferrica. Pot. Symp. pp 127-135.

202 - HERRERO, J., and ABADIA, A., 1962 - " The performance of fruit trees in calcareous soils " . An. Estac. exp. Aula Dei 7 : 35-55.

203 - HEWITT, E. J., 1966 - Technical communication n° 22 Common Wealth Bureau of Horticulture and plantation crops East Malling , Maidston Kent.

204 - HEWITT, E. J., 1948 - Some effects of metal-induced iron deficiency. A. R. Long Ashton, R. S. Bristol , 66-80.

205 - HEWITT, E. J., and TATHAM, P., 1960 - Interaction of mineral deficiency and nitrogen source on acid phosphatase activity in leef extract. J. exp. Bot. , 11 : 367-76.

206 - HILGEMAN, R. H., and SHARPLES, G. C., 1968 - Manganese deficiency in grapefruit in Arizona. Israel J. agric. Res., 18 : 187-91.

207 - HILL-COTTIGHAM, D. G., and LLOYD-HONES, G. P., 1961 - Absorption and breakdown of iron-ethylene diamide tetreacetic acid by tomato plants. Nature , 189, 312.

208 - HOLLEY, R. W., et CAIN, J. C., 1955 - Arginine accumulation in plants afflicted with iron deficiency type of chlorosis . Science , 121, pp 172-173.

209 - HOLMES, R. S., and BROWN, J. C., 1955 - Chelates as correctives for chlorosis. Soil Sci. , 80 : 167-179.

210 - HOLMES, R. S., and BROWN, J. C., 1957 - Iron and soil fertility. U. S. D. A. Yearbook Soils : 111-115. Supt. of Doc ., Washington 25. D. C.

211 - HOPKINS, H., and EISEN, J., 1959 - Mineral elements in fresh vegetables from different geographic areas. J. agric. , Food. Chem. , 7 : 633-8.

212 - HOUDAILLE, F., et SEMICHON, L., 1894 - Etude de l'état physique du calcaire considéré comme cause déterminante de la chlorose. Ann. Ecole Nat. Montpellier , t. VIII, 243-326.

213 - HOWELL, R. W., and BERNARD, R. L., 1961 - Phosphorus response of soybean varieties. Crop Sci., 1 : 311-313.

214 - HUFFAKER, R. B., CLARK, R. T., MUELLER, R. T., and WALLACE, A., 1960 - Relative importance of bicarbonate v. s. carbondioxide in reactions, including $KHCO_3$ accumulation by Bush-Beans. Soil Sci.; 89 : 264-68.

215 - HUFFAKER, R. C., MILLER, M. D., and MIKKELSEN, D. S., 1962 - Effects of 2,4D, iron, and chelate supplements on dark CO_2 fixation in cell-free homogenates of fleld beans. Crop Sci., 2 : 127-9.

216 - HUFFAKER, R. C., and WALLACE, A., 1959 - Effect of bicarbonate levels on in vitro carboxylation reactions in leaf and root preparations. Plant physiol., 34 (suppl.) : 18.

217 - HUNTER, J. G., 1954 - Nickel toxicity in a Southern Rhodesian soil. South African Journal Sci., 51 : 133-135.

218 - IDA, H., and others, 1968 - " Studies on abnormal defoliation of satsuma orange tree. 2. Some chemical factors affecting the availability of Mn in citrus orchard soils derived from different matrices ". Bull. Shizuoka pref. citrus Exp. Stat., n° 7, 31-38.

219 - ILJIN, W. J., 1952 - Metabolism of plants affected with lime--induced chlorosis. II. Mineral elements. Plant and Soil, 3, 339-351.

220 - ILJIN, W. S., 1952 - Matabolism of plants affected with lime--induced chlorosis. Plant and Soil, 4, I, 11-28.

221 - ILJIN, W. S., 1951 - Metabolism of plants affected with lime--induced chlorosis (calciose). I. Nitrogen matabolism. Plant and Soil, 3 : 239-256.

222 - ILJIN, W. S., 1951 - " Metabolism of the grapevigne during lime chlorosis ". Garden Bauwios., 17, 338-381.

223 - ILJIN, W. S., 1943 - Biochemische vorgange während der Kalk chlorose der weissen Lupine. Ber. Deut. Botan. Ges., 61, 138-148.

224 - INGALLS, R. A., and SHIVE, J. W., 1931 - Relation of H-ion concentration of tissue fluids to the distribution of iron in plants. Plant physiol., 6 : 103-125.

225 - ISRAELSTAM, G. F., 1968 - Anamatous growth response of bean plants in iron deficient media to cyanide. Nature, 218:390-1.

226 - IVANOV, S. M., et ORGIYAN, B. A., 1961 - " Variation of amount of bound and soluble iron in various organs of chlorotic apple trees". Fisiol. Rast., 8, 5, 636-637.

227 - JACOBSON, L., 1955 - Carbon dioxide fixation and ion absorption in barley roots. Plant physiol., 30, 264-269.

228 - JACOBSON, L., 1945 - Iron in the leaves and chloroplasts of some plants in relation to their chlorophyll content. Plant physiol., 20 : 233-245.

229 - JACKSON, M. L., 1958 - Soil chemical analysis. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J., p 151.

230 - JACOBSON, L., and OERTLI, J. J., 1956 - The relation between iron and chlorophyll contents in chlorotic sunflower leaves. Plant physiol., 31 : 199-204.

231 - JACKSON, R., 1940 - Gardening on Chalk and lime soil. Williams and Norgate, Ltd., London.

232 - JAMES, W. O., 1953 - The use of respiratory inhibitors. Ann. Rev. Plant Physiol., 4: 59-90.

233 - JEFFREYS, R. A., 1962 - The absorption of Fe59 by potato discs- A preliminary discussion. A Decade of Synthetic Chelating Agents in Inorganic Plant Nutrition. Edited by A. Wallace. Los Angeles 64, Calif., p. 92.

234 - JEFFREYS, R. A., HALE, V. Q., and WALLACE, A., 1961 - Uptake and translocation in plantes of labrelled iron and chelating agents. Soil Sci., 92 : 268-73.

235 - JENNY, H., and CHARLEY, J. L., 1961 - Two phase studies on availability of iron in calcareous soils. Agrochemica, 5, 99-107

236 - JIMENEZ SAENZ, E., 1965 - "Some effects of 2, 3, 5- triiodobenzoic acid and indol-3-acetic acid on the absorption and distribution of Fe59 by plants." Turrialba., 15: 281-5.

237 - JOHNSON, H. W., MEANS, U. M., and CLARK, F. E., 1959 - Responses of seedlings to extracts of soybean nodules bearing selected strains of Rhizobium japonicum. Nature., 183: 308-309.

238 - JURAS, I., 1958 - " Influence of fertilization on lime induced chlorosis of poncirus trifoltata L. ". (Se. -an) Zemlj. i Biljka, t. 7, 1/3, 347-350.

239 - JUSTE, C., DELMAS, J., et LASSERRE, M., - 1961 - Comparaison de la rémanence de sels de fer et de séquestrats. C. R. Acad. Agri., 168-171.

240 - JUSTE, C., and POUGET, R., 1967 - Influence des exsorbats radiculaires de vigne sur le maintien en solution de fer à pH élevé en présence ou en l'absence de calcium. C. R. Acad. Agri., 53 : 85-9.

241 - JYOTISHI, R. P., and KASHYAR, R., 1967 - " Effect of application of some trace elements as folliar spray under varying levels of N. and phosphoric acid on leaf contents of brinjal (Solanum melongena Linn)". JNKVV Res., 1 (1): 38-43.

242 - JYUNG, W. H., and WITTWER, S. H., 1964 - Foliar absorption - an active uptake process. Amer. J. Bot., 51 : 437-444.

243 - KALIA, H. R., 1964 - Anatomical effects of excesses and deficiency of different micronutrient elements on horticultural plants : a review. Punjab. hort. J., 4 : 65-74.

244 - KANNAN, S., 1966 - Mechanism of foliar absorption in higher plants with special refrence to iron. Diss. Abstr. sect. B, 27 : 1377-8.

245 - KANNAN, S., and WITTWER, S. H., 1965 - Effects of chelation and urea on iron absorption by intact leaves and ensymically isolated leaf cells. Plant physiol., 40 (suppl.) : XII .

246 - KESSLER, B., 1960 - Some relationships between the production of carbon dioxide by roots and lime tolerance of fruit trees and grape vine hybrids. Plant physiol., 35, 1, 140-145.

247 - KESSLER, B., 1958 - " Further evidence on the effect of bicarbonate ions upon nucleic acid metabolism and ion uptake in fruit trees susceptible and nonsusceptible to lime-induced chlorosis ". Ktavim , 8 : 287-293.

248 - KESSLER, B., 1957 - Effect of certain nucleic acid components upon the status of iron, deoxycibonucleic acid, and lime--induced chlorosis in fruit trees. Nature, 179 : 1015-1016.

249 - KESSLER, B., and MOSCIKE, Z. W., 1958 - Effect of triiodobenzoic acid and maleic hydrazide upon the transport of foliar applied calcium and iron. Plant physiol., 33 : 70-72.

250 - KHADAR, A., 1965 - Differential responses to some nutrient elements by trifoliate orange and rough lemon. Diss. Abstr. 26 : 14., being Order n° 65-6, 955 of 166 p.

251 - KHADAR, A., and WALLACE, A., 1964 - Uptake and translocation of radioactive iron and zinc by trifoliate orange and rough lemon. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 85 : 189-200.

252 - KHADAR, A., WALLACE, A., and ROMNEY, E. M., 1965 - Mineral nutritional problems of trifoliate orange rootstock. Calif. Agric., 19 (9) : 14-15.

253 - KIRSCH, R. K., HARWARD, M. E., and PETERSEN, R. G., 1960- Interrelationships among iron, manganese, and molybdenum in the growth and nutrition of tomatoes grown in culture solution. Plant and Soil , 12 : 259-75.

254 - KNEZEK, B. D., and MAIER, R. H., 1966 - Fractionation of iron in chlorotic and nonchlorotic tomato leaf tissue. J. agric. Fd Chem., 14 : 266-8.

255 - KOCEV, H., 1960 - " Chlorosis of trees on the Danube plain ". Izv. bot. Inst. Sofia , 7 : 37-105.

256 - KOCHAN, W. J., 1962 - Iron chelate control of chlorosis in peach trees. Bull. Idaho agric., Exp. Stat., 384 : p 8.

257 - KOMCZYNSKI, L., NOWAK, H., and REJNIAK, L., 1963 - Effect of cobalt, nickel and iron on mitosis in the roots of the broad bean. (Vicia faba). Nature, 198 : 1016-17.

258 - KOUKKARI, W. L., 1962 - The effects of chelates on the concentration of magnesium in apple trees. Diss. Abstr. 23:1477, being Order n° 62-6521 of 145 p.

259 - KUYKENDALL, J., RICHARD, 1956 - The occurrence of lime--induced chlorosis. Soil Sci., 84 : 24-28.

260 - LABANAUSKAS, C. K., 1962 - Correction of manganese deficiencies in grapefruit trees by foliar sprays in desert areas of Southern California. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 80:268-73.

261 - LABANAUSKAS, C. K., JONES, W. W., and EMBLETON, T. W., 1960 - Seasonal changes of micronutrients in Navel orange leaves. Calif. Citrogr., 45 : 68-76.

262 - LABANAUSKAS, C. K., JONES, W. W., and EMBLETON, T. W., 1959 - Seasonal changes in concentration of micronutrients zinc, copper, boron, manganese, and iron in leaves of Washington Navel orange. Proc. Amer. Soc. hort. Sci. , 74 : 300-7.

263 - LABANAUSKAS, C. K., and others, 1968 - Influence of soil oxygen and soil water on the accumulation of nutrients in avocado seedlings (Persea americana Mill). Plant and Soil, 22 : 391-406.

264 - LABANAUSKAS, C. K., and others, 1966 - Effect of soil-oxygen and irrigation on the accumulation of macro and micronutrients in citrus seedlings (Citrus sinensis var. Osbeck). Soil Sci., 101 : 378-84.

265 - LABANAUSKAS, C. K., and others, 1965 - Effects of soil temperature and oxygen on the amount of macronutrients and micronutrients in citrus seedlings (Citrus sinensis var. Bessie). Proc. Amer. Soil. Sci. Soc.; 29 : 60-4 .

266 - LABANAUSKAS, C. K., and others, 1964 - Adequate soil-oxygen supplies increase nutrient concentration in citrus seedlings. Calif. Agric. , 18 (10) : 13, 14.

267 - LACROIX, J. L., and LEUZ, L. M., 1967 - The use of P. I. soybeans as an indicator plant for the selection of chlorosis resistant horticultural plants. Hortscience, 2 : 114.

268 - LAFON, J., COUILLAUD, P., et GAY-BELLILE, F., 1962 - Essais de chelate de fer dans la lutte contre la chlorose de la vigne. Progr. agric. vitic., 157 : 222-6.

269 - LALATTA, F., et RAVA, P., 1963 - " Treatment of chlorosis in peat and peach trees ". Progr. agric., Bologna, 9 : 1253-66.

270 - LATIMER, W. M., 1952 - Oxidation potentials. 2nd Ed. Prentice-Hall, New-York.

271 - LEMBERG, R., and LEGGE, J. W., 1949 - Hematin compounds and bile pigments. Interscience Publishers, New-York.

272 - LEEPER, G. W., 1952 - Factors affecting availability of inorganic nutrients in soils with special reference to micronutrient elements. Ann. Rev. Plant physiol., 3 : 1-16.

273 - LEONARD, C. D., 1969 - Micronutrients essential for tree health and high yield of quality citrus. Citrus veg. Mag., 32 (5):14.

274 - LEONARD, C., et STEWARD, I., 1953 - An available source of iron for plants. Prod. Amer. Soc. Hort. Sci., 62 : 103.

275 - LIEBIG, G. I., and CHAPMAN, H. D., 1963 - The effect of variable root temperatures on the behaviours of young Navel orange trees in the green house. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 62 : 204-9.

276 - LINDNER, R. C., and HARLEY, C. P., 1944 - Nutrient interrelations in lime-induced chlorosis. Plant physiol., 19:420-439.

277 - LINDSAY, W. L., and THORNE, D. W., 1954 - Bicarbonate ion and oxygen level as related to chlorosis. Soil Sci., 77:271-279.

278 - LIWERANT, J., 1960 - Relations entre la chlorose des arbres fruitiers et la réaction des sols. C. R. Acad. Agri., 46:352-8.

279 - LOCKARD, R. G., and BURRIDGE, J. L., 1965 - The levels of manganese, sodium, aluminium, iron, boron, zinc, and copper in the leaves of cacao. (Dheobroma cacao L.) as affected by shade fertilizes, irrigation and season. Ann. Bot. Lond., 29 : 283-92.

280 - LOCKE, L. F., and ECK, H. V., 1967 - " Iron chlorosis ". Inf. fitopat., 17 : 364-7.

281 - LORING, H. S., and WARITZ, R. B., 1957 - Occurence of iron, copper, calcium, and magnesium in tobacco mosaic virus. Science 125 : 646-648.

282 - LUNT, O.R., HEMAIDAN, N., and WALLACE, A., 1956 - Reactions of some polyamine polyacetate iron chelates in various soils. Proc. Amer. Soc. Soil. Sci., 20 : 172-175.

283 - LUNT, O.R., and KOHL, H.C., Jr, 1956 - Absorption and translocation of iron from various sources by rose leaves. 54-58; WALLACE, A. (ed.) Symposium on the use of metal chelates in plant nutrition. The National Press. Palo Alto, Calif.

284 - MACAULAY INSTITUTE for Soil Research. Annual Report 1959-60. Malic acid increase in broad beans with an increased Fe concentration in the nutrient medium. pp 52.

285 - MARCELLI, E., and CAPOZZI, A., 1960 - The antagonism of manganese towards streptomycin. Tobacco, 64 : 80-5.

286 - MARSH, H.V., and EVANS, H.J., 1960 - Investigations on the role of iron in chlorophyll metabolism. Plant physiol., 35 : (suppl.): XXIII, XXIV .

287 - MARRO, M., 1967 - " First contribution to studies on foliar diagnosis in pear with special refrence to the variety Passe Crassane and its problems ". Frutticoltura, 29 : 89-103.

288 - MASSEY, R.V., Jr, and COOIL, B.J., 1967 - Delay and reversal of a Kdeficiency sumptom in Lycopersicon esculentum Anahu. Plant physiol., 42 (suppl.) : 5-6.

289 - MATTSON, S., 1961 - " Ionic relationship of soil and plant. II. The salt effect on ion uptake ". Acta Agric. Scand., 17 : 78-82.

290 - MAZE, P., RUOT, M., et LEMOIGNE, M., 1912 - Rôle des excrétions radiculaires dans l'absorption du fer en sol calcaire. C.R. Acad. Sci., 155, 435-437.

291 - MAZELIS, M., and VENNESLAND, B., 1957 - Carbon dioxide fixation into oxaloacetate in higher plants. Plant physiol., 32 : 591-600.

292 - Mc ELROY, W.D., et NASON, A., 1954 - Mechanism of action of micro nutrient elements in enzyme systems. Ann. Review of Plant physiology, 5 : 1-25 .

293 - Mc GEORGE, W.T., 1954 - A new spray for the cure of lime-induced chlorosis. Better Crops with Plant Food, 38 (3) : 13-14, 49-50.

294 - Mc GEORGE, W.T., 1949 - Lime-induced chlorosis : relation between active iron and citric and oxalic acids. Soil Sci., 68, 381- 390.

295 - Mc GEORGE, W. T., 1949 - A study of lime-induced chlorosis in Arizona orchards. Tech. Bull., 117, Univ. of Arizona, bull. n° 117.

296 - Mc GEORGE, W. T., 1948 - Nutrient interrelations in lime-induced chlorosis as revealed by seedling tests and field experiments. Univ. of Ariz. Agr. Exp. Sta. tech. Bul., 116.

297 - Mc GEORGE, W. T., 1943 - Acidulated fertilizers for Arizona soils. Univ. of Ariz. Agr. Exp. Sta. Tech. Bul., 101;

298 - Mc KINEY, 1941 - Estimation of chlorophyll by a colorimeter. J. of Biol. Chem., 140, 315-22.

299 - MEDAPPA, K. C., and DANA, M. N., 1968 - The influence of pH, calcium, iron, and alluminium on the uptake of radiophosphorous by cranberry plants. Proc. Amer. Soc. Soil Sci., 32 : 381-3.

300 - MEDOKS, G. V., ANDREEV, B. V., and KONDRAT'EVA, A. G., 1963 - " The causes of a calorosis, and its control in orchards in the Volga area ". Vestn. sel'sg. Naukl, 8 (9): 125-9.

301 - MEDOKS, G. V., and KONDRAT'EVA, A. G., 1966 - " Intervenal chlorosis as a result of disturbance in the normal oxygen regime of the soil and subsoil ". Trudy saratov. sel - Loz. Inst., 2 (13), 338-43.

302 - MILLER, G. W., 1960 - Carbon-dioxide - Bicarbonate absorption, accumulation, affects on various plant metabolic reactions, and possible relations to lime-induced chlorosis. Soil Sci., 89 : 5, 241-45.

303 - MILLER, G. W., BROWN, J. C., and HOLMES, R. S., 1960 - Chlorosis in soybean as related to iron, phosphorus, bicarbonate, and cytochrome oxidase activity. Plant physiol., 35, 5, 619-625.

304 - MILLER, G. W., and EVANS, H. J., 1956 - Inhinition of plant cytochrome oxidase by bicarbonate. Nature, 178 : 974-976.

305 - MILLER, G. W., and EVANS, H. J., 1956 - The influence of salts on activity of particulate cytochrome oxidase from roots of higher plants. Plant physiol., 31 : 357-364.

306 - MILLER, M. D., MIKKELSEN, D. S., and HUFFAKER, R. C., 1962 - Effect of stimulatory and inhibitory levels of 2,4-D iron and chelate supplements on juvenile growth of field beans. Crop Sci., 2 : 111-14.

307 - MILLER, G. W., RUSSEL, S. A., 1962 - Phosphorus absorption in relation to bicarbonate ion concentration. Soil Sci., 94 : 146-150.

308 - MILLER, G. W., and THORNE, D. W., 1956 - Effect of bicarbonate ion on the respiration of excised roots. Plant physiol., 31 : 151-155.

309 - MILLIKAN, C. R., 1948 - Antagonism between molybdenum and certain heavy metals in plant nutrition. Nature, 161 : 528.

310 - MILLIKAN, C. R., 1947 - Effect of molybdenum on the severity of toxicity symptoms in flax induced by an excess of either manganese, zinc, copper, nickel or cobalt in the nutrient solution. Jour. Aust. Inst. Agr. Sci., 13 : 180-86.

311 - MILLIKAN, D. F., and KRAUSE, G., 1967 - Biochemical pattern in leaf tissue from virus infected and disease free apple. IV. Effect of virus infection upon the trace element content of a tolerent and sensitive variety. Phytopath. Z., 59 : 153-6.

312 - MINASJAH, S. M., 1955 - " Some chemical indices in the chlorotic leaves of some fruits ". Izv. Akad. Nauk, Armensk SSR. VIII, 2, 63-66.

313 - MINASJAH, S. M., and MARTIROSJAN, M. Ja, 1966 - " The content of microelements in different parts of the tree crown ". Dikl Akad. Nauk. Armjan SSR, 42 : 166-9.

314 - MINESSY, F. A., 1959 - Inducing chlorophyll formation in albino citrus seedling. Nature 183, 553.

315 - MOLCANOV, E. F., 1966 - " The formation of root systems on calcareous soils ". Sadovodstvo, n° 12, pp 13-14.

316 - MOORE, D. P., HARWARD, M. E., MASON, D. D., HADER, R. J., LOTT, W. C., and JACKSON, W. A., 1957 - An investigation of some of the relationships between copper, iron, and molybdenum in the growth and nutrition of lettuce. II. Response surfaces of growth and accumulation of Cu and Fe. Proc. Amer. Soc. Soil Sci., 21 : 65-74.

317 - MORDEN Experimental Farm., 1961 - Progress report of the experimental for Morden Manitoba, for 1955-99., pp 43.

318 - MURPHY, J. J., and MAIER, R. H., 1967 - Intercellular distribution of iron, catalase and protein in tomato plant tissue. J. agric. Fd. Chem., 15 : 113-17.

319 - NAUMANN, W. D., 1966 - " The development and mineral nutrient supply of fruit tree rootstocks as affected by hydrocarbonates, carbonates, and carbon dioxide in the substrate. I. The effect of hydrocarbonates ". Cartenbaumiss., 31 : 213-43.

320 - NEHER, D. D, 1960 - The effect of nutrient levels in nutrient culture on the translocation of foliar applied nutrients. Diss. Abstr., 20 2472, being L. C. Car. No Mic. 59. 1978 of 73 p.

321 - NELSON, P. V., and GARLICH, H. H., 1969 - Relationship of chemical classification and hydrophile-lipophile balance of surfactants to enbancement of foliar uptake of iron. J. agric. Food Chem., 17: 148-52

322 - NEWMAN, D. W., 1964 - Effects of iron deficiency on chloroplast lipids. J. exp. Bot., 15: 525-9

323 - NICHOL, W. E., and MACK, A. R., 1964 - Elemental composition of apples in relation to fruit quality, soil acidity and organic matter. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 85: 91-9

324 - NICHOLAS, D. J. D., 1952 - Some effects of metals in excess on crop plants grown in soil culture. III. Effects of cobalt, nickel, and zinc on growth, metal, and chlorophyll contents of tomato. Ann. Report Agr. and Hort. Res. Sta. Long Ashton, 1951: 87-102

325 - NICHOLAS, D. J. D., GOODMAN, T., 1958 - The effects deficiencies of zinc and iron on some enzyme systems in Neurospora. J. Exp. Bot., 9: 97-108

326 - NORMAL, A. G. (Editor), 1961 - Iron chlorosis in plants. Academic Press New York and London., 9x6 in pp. 386

327 - NORTH, C. P., WALLACE, A., 1959 - Nitrogen effects of chlorosis in macademia. Calif. Macademia Soc. Yearbook, 5: 54-67

328 - NORTH, C. P., WALLACE, A., 1953 - Tolerance of open-pollinated Dickinson avocado seedlings to lime soil. Calif. Avocado Soc. Yearbook., 38: 198-202

329 - NORTH, C. P., WALLACE, A., 1952 - Lime - induced chlorosis in avocado and a possible method of control. Calif. Avocado Soc. Yearbook., 37: 177-186

330 - NORTH, C. P., WALLACE, A., RYAN, G. F., and MUELLER, R. T., 1959 - Amelioration of virus symptoms in camellia with iron. Virology., 8: 131-134

331 - OERTLI, J. J., and JACOBSON, L., 1960 - Some quantitative consideration in iron nutrition of higher plants. Plant Physiol., 35: 683-8

332 - OLNEY, V. W., 1956 - Responses to combination chelate metal aprays including an interaction with certain virus diseases. Symposium on Use of Metal Chelates. National Press, Palo Alto, Calif., pp. 43-44

333 - OLSEN, S.R., WATANABE, F.S., and COLE, C.V., 1960 - Effect of sodium bicarbonate on the solubility of phosphorus in calcareous soils. Soil Sci., 89 : 288-91.

334 - OLSEN, C., 1936 - " Iron absorption and chlorosis in green plants ". Compt. Rend. Trev. Lab. Carlsberg. Ser. Chim. 21 : 15-53.

335 - OLSON, S.R., and WATANABE, F.S., 1958 - Solubility of calcium carbonate in calcareous soils. Soil Sci., 88:123-129.

336 - OLSON, R.V., 1947 - Iron solubility in soils as affected by pH and free iron oxide content. Proc. Amer. Soc. Soil Sci., 12 : 153-157.

337 - ONGUN, A.R., and WALLACE, A., 1958 - Inorganic composition of small Washington Navel orange trees grown in a glasshouse with different root temperatures. Trees Physiology Studies at U.C.L.A. Rep., n° 1 : 75-83.

338 - ORTUNO MARTINEZ, A., and NAVARRO BLAYA, S., 1963 - " An electrophoretic study of chloroplastin ". Edafol. Agrobiol., 22 : 126-37.

339 - OSERKOWSKY, J., 1933 - Quantitative relation between chlorophyll and iron in green and chlorotic pear leaves. Plant physiol., 8 : 449-468.

340 - OSERKOWSKY, J., 1932 - Hydrogen-ion concentration and iron content of tracheal sap from green and chlorotic pear trees. Plant physiol., 7 : 253-259.

341 - OSTROVSKAJA, L.K., and HILIK, L.A., 1963 - " Chelates for the control of chlorosis ". Sudovodstvo, n° 11, 44-5.

342 - OSTROVSKAJA, L.K., and ZANJCEVA, N.A., 1967 - " Phytochemical activity of chloroplasts under conditions of iron deficiency in plants ". Dokl. Akad. Nauk. SSSR, 176:1176-80.

343 - O'SULLIVAN, M., FLYNN, M.J., and CODD, F.J., 1969 - A biochemical method for diagnosing micronutrient deficiencies in plants. Irish J. agri. Res., 8 : 111-119.

344 - PALMER, M.J., DEKOCK, P.C., and BACON, J.S.D., 1963 - Changes in the concentrations of malic acid, citric acid, calcium and potassium in the leaves during the growth of normal and iron-deficient mustard plants. Biochem. J., 86 : 484-94.

345 - PANDALAI, K.M., and PILLAI, R.V., 1959 - Albinism in coconut seedlings. Nature, 184 : 1163.

346 - PARKASH, V., and SUBBIAH, B. V., 1965 - Distribution pattern of radiocalcium (Ca45) and radiosulphur (S35) in citrus seedlings under normal and deficient conditions of different micronutrient elements. Soil Sci., Plant Nutrit., 11 : 164-70.

347 - PARTHASARATHI, K., 1965 - Contributions to a biochemical study of sugarcane. II. Chlorophyll-iron balance in cane leaves, and its use in the early characterisation of late and early ripening cane varieties. Proc. Indian Acad. Sci. Sect. B, 61 : 81-9.

348 - PETERSEN, H. D. V., 1965 - Differentiation between the pH effect and the bicarbonate ion effect in causing lime-induced chlorosis. Diss. Abstr., 25 : 5479, being Order n° 64-13, 748 of 92 pp.

349 - PERUR, N. G., SMITH, R. L., and WIEBE, H. H., 1961 - Effect of iron chlorosis on protein fractions of corn leaf tissue. Plant physiol., 36, 6, 736-739.

350 - PIRONE, T. P., and POUND, G. S., 1962 - Molybdenum nutrition of Nicotiana tabacum in relation to multiplication of tobacco mosaic virus. Phytopathology, 52 : 822-7.

351 - POMIER, M., 1968 - Application des oligoéléments sur les jeunes cocotiers plantés sur atoll. Oléagineux, 23 : 241-2.

352 - PORTER, L. K., and THOENE, D. W., 1955 - Interrelation of carbon dioxide and bicarbonate ions in causing plant chlorosis. Soil Sci., 79 : 373-382.

353 - POUGET, R., and JUSTE, C., 1965 - Influence de la chlorose ferrique sur la composition et les propriétés de la sève de la vigne : résultats préliminaires. C. R. Acad. Agri., 51 : 98-105.

354 - PRIMO YUFERA, E., BOTELLO SOTO, C., et ROYO IRANZO, J., 1959 - Diagnóstia foliar II. Relación entre ciertos estados anómolos del melocotonero (pêchers) y el contenidos en oligoelementos de sus hojas. (leurs feuilles). Bol. Inst. nac. Invest. agron. Madrid, 19 : 323-30.

355 - PY, C., et al., 1957 - "Fertilizing pine apples in Guinea". Fertilité, n° 3, pp 5-25.

356 - RABINOWITCH, E. I., 1945 - Photosynthesis and Related Processes. Vol. I page 179. Interscience Publishers. New-York.

357 - RANDHAWA, N. S., BHUMLA, D. R., and DHINGRA, D. R., 1967 - Role of soil and plant composition in diagnosis of citrus decline in Punjab. J. Res. Ludhiana, 4 : 16-24.

358 - READ, R. E., and SHELDRAKE, R., Jr, 1966 - Correction of chlorosis in plants grown in Corvell peat-lite mixes. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 88 : 576-81.

359 - RECKENDORFER, P., 1961 - " Lime-induced chlorosis in relation to iron. The chelate donor. III. Pilot trial in the orchard "; Pflsch. Ber. Wien, 26 : 65-81.

360 - RECKENDORFER, P., 1961 (a) - " A contribution to the biochemistry of fluorine, lime and virus induced chloroses ". Pflsch. Ber. Wien, 27 : 1-9.

361 - RECKENDORFER, P., 1959 - " Lime induced chlorosis in relation to iron. The coenzme II. Pilot trial in the orchard preliminary report ". Pflsch. Ber. Wien, 22 : 137-43.

362 - REDDISK, J. H., BIDDULPH, O., 1953 - The absorption and translocation of iron. Plant physiol., 28 : 576-593.

363 - REUTHER, W., and C. L. CRAWFORD, 1946 - Effect of certain soil and irrigation treatments on citrus chlorosis in calcareous soil. I. Plant responses. Soil Sci., 62 : 477-91.

364 - REUTHER, W., and SMITH, P. F., 1953 - Iron chlorosis in Florida citrus groves. Citrus Ind., 34 (2) : 5-6, 10-12.

365 - REUTHER, W., and SMITH, P. F., 1953 - Effects of high copper content of sandy soil on growth of citrus seedlings. Soil Sci., 75 - 219-224.

366 - REUTHER, W., SMITH, P. F., 1952 - Iron chlorosis in Florida citrus groves in relation to certain soil constituents. Proc. Florida State Nort. Soc., 65 : 62-69.

367 - RHOADS, W. A., and WALLACE, A., 1960 - Possible involment of dark fixation of CO_2 in lime-induced chlorosis. Soil Science 89 : 248-256.

368 - RHOADS, W. A., WALLACE, A., 1957 - The free amino-acid and organic acids in bean and avocado leaves under condition of iron deficiency and or lime-induced chlorosis. Plant physiol., 32 XXII (suppl.)

369 - RHOADS, W. A., WALLACE, A., ROMNEY, E. M., 1959 - Lime-induced chlorosis studied physiology of disorder investigated to learn role of malonic acid and possibility of block in organic acid metabolism. Calif. Agric., 13 (3) : 6, 15.

370 - RHOADS, W. A., WALLACE, A., and ROMNEY, E. M., 1956 - A slowly soluble source of micronutrients for plants. Soil Sci., 81 (5) : 359-369.

371 - RIEKELS, J. W., and GULEN, O. F., 1967 - Iron uptake translocation by tomato plants influenced by manganese. Plant physiol., 42 (suppl.) : 6.

372 - RINKE, R. S., 1958 - " The effect of industrial refuse and glass frits containing micro-elements ". Tr. Akad. Nauk Latv SSR, 9 : 265-87.

373 - RODRIGUEZ, C., and HERAS, L., 1959 - " Lime-induced chlorosis of quince trees in relation to infection by Entomosporium maculatum (Fabraea maculata) ". An. Estac. exp. Aula Dei, 6 : 106-9.

374 - RONALD, C. D., SMITH, R. L., and WIEBE, H. H., 1960 - Effect of various levels of bicarbonate, phosphorus, and pH on the translocation of foliar applied iron in plants. Soil Sci., 89-269-75.

375 - ROORDA VAN EYSINGA, J. P. N. L., 1961 - " The use of iron chelate to correct chlorosis in fruit on calcareous loess soil ". Fruitteelt, 51 : 755-6.

376 - SADEGHIAN, E., and LINSER, H., 1967 - " The efficacy "c" of the plant nutrient calcium ". Z. PflErnähr. Bodenk., 118 : 112-16.

377 - SAMISH, R. M., 1958, 1962 - Physiological approaches to rootstock selection. Proc. 15 th Inst. hort. Congr., Nice, vol 2, pp. 12-17.

378 - SAMISH, R. M., 1954 - A contribution to the knowledge of lime-induced chlorosis in grape vines. Extrait de " Analyse des plantes et problèmes des engrais mineraux ". pp 156-165. VIII°Congrès International de Botanique, Paris.

379 - SAMUELS, G., and CIBES, H. R., 1953 - Iron chlorosis on Dracaena sanderiana. Jour. Agric. Univ. Puerto Rico, 37 (4) : 265-272.

380 - SAROSI, D., 1968 - " The use of iron chelates for curing lime-induced chlorosis in vines ". Növenytermeles, 17 : 159-72.

381 - SAYRE, J. D., 1930 - Accumulated iron in the nodes of corn plants. Plant physiol., 5 : 393-398.

382 - SAYWELL, L. G., and B. B. CUNNINGHAM, 1937 - Determination of iron, colorimetric o-phenanthroline method. Ind. Eng. Chem. Anal. Ed., 9 : 67-79.

383 - SCHMID, W. E., and GERLOFF, G. C., 1961 - A naturally occuring chelate of iron in xylem exudate. Plant physiol., 36 : 226-31.

384 - SCOTTO DE LA MASSES, 1970 - Resultats non publiés.

385 - SECKBACH, J., 1967 - Electro-microscopical studies on the formation of phytoferribin as influenced by iron supply to iron defficient bean plants. Plant physiol., 42 (suppl.):21.

386 - SEMIN, V. S., and CIPKO, A. A., 1964 - " The use of the radio-isotope of iron in studies on chlorosis in fruit trees ". Vestn. sel'sk Nauki, 9 (10) : 130-4.

387 - SHANNON, L. M., and ZAPHIR, J., 1958 - The relative influence of two citrus rootstock species upon plant growth and upon the inorganic composition of scion. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 71 : 257-64.

388 - SHER, S. A., 1959 - Nematodes on ornamentals. Calif. Agric. 13 : 9 : 21-22.

389 - SIDERIS, C. P., 1955 - Interdependance of iron and nitrogen in pineapple chlorosis. Plant physiol., 30 (suppl.) : 32-33.

390 - SIMS, W. L., and GABELMAN, W. H., 1956 - Iron chlorosis in spinach induced by phosphorus. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 67 : 445-450.

391 - SISNIASVILI, M. D., 1959 - " New kinds of organo-mineral microfertilizers to control chlorosis of vine shoots. " Vinodelie i Vinogradarstvo., 19(4): 28-31

392 - SMALL, JAMES., 1946 - pH and Plants. D van Nostrand Co., Inc., New York

393 - SMITH, P. F., REUTHER, W., and SPECHT, A. W., 1950 - Mineral composition of chlorotic orange leaves and some observations on the relation of sample preparation technique to the interpretation of results. Plant Physiol., 25: 496-506

394 - SMITH, P. F., REUTHER, W., and SPECHT, A. W., 1949 - The influence of rootstock on the mineral composition of Valencia orange leaves. Plant Physiol., 24 : 455-461

395 - SMITH, P. F., and SPECHT, A. W., 1953 - Heavy metal nutrition and iron chlorosis of citrus seedlings. Plant Physiol., 28 : 371-382

396 - SOMERS, I. I., and SHIVE, J. W., 1942 - The iron manganese relation in plant metabolism. Plant Physiol., 17 : 582-602

397 - SOUTHERN, P. J., and DICK, K., 1968 - The distribution of trace elements in the leaves of the coconut palm, and the effect of trace element injections. Oléagineux., 23 : 521-7

398 - SPARKES, C. H., 1959 - Spinach nutrition in relation to manganese, phosphorus, and lime fertilization. Diss. Abstr., 20 : 1121

399 - SPENCER, W. F., 1960 - Effects of heavy applications of phosphate and lime on nutrient uptake, growth, freeze injury, and root distribution of grapefruit trees. Soil Sci., 89: 311-18

400 - STARKEY, R. L., and HALVERSON, H. O., 1927 - Studies on the transformation of iron in nature. II. Concerning the importance of microorganisms in the solution and precipitation of iron. Soil Sci. 24: 381-402

401 - STEINBERG, R. A, BAWLING, J. D., and McMURTREY, J. E., Jr, 1949 - A possible explanation for symptom formation in tobacco with frenching and mineral deficiencies. Science., 110: 714-715

402 - STEBBINS, R. L., JOHNSON, G., and JOHNSON, D. K., 1963 - Responses of peach to applications of nitrogen and chelated iron in Colorado. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 82: 114-19

403 - STEWART, I., 1962 - The effect of minor element deficiencies on free amino acids in citrus leaves. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 81: 244-9

404 - STEWART, I., and LEONARD, C. D., 1957 - Use of chelates in citrus production in Florida. Soil Sci., 84: 87-97

405 - STEWART, I., and LEONARD, C. D., 1952 - Chelates as sources of iron for plants growing in the field. Science 116: 564-566

406 - STOCKS, D. L., 1964 - A study of the biochemistry of riboflavin in the higher plants as influenced by iron. Diss. Abstr., 25: 3253-4 ; being Order No 64-13, 749 of pp 99

407 - STOLWIJK, J. A. J., and THIMANN, K. V., 1957 - on the uptake of carbon dioxide and bicarbonate by roots, and its influence on the growth. Plant Physiol., 32(6): 513-519

408 - SU, L. Y., and MILLER, G. W., 1961 - Cholorosis in higher plants as related to organic acid content. Plant Physiol., 36, 4, 415-420

409 - SZAVA, J., 1967 - " More efficient grape and fruit production with a microelement containing. " Nemzetk. Mezögazd Szle. 11(4): 101-102

410 - TABVENCA, M. C., 1967 - Incompatibility between stock and scion VIII observations on incompatible unions between pears and quinces with refrence to scion-rooted trees. An. Estac. exp. Aula Dei., 8: 371-82

411 - TAPER, C. D., and LEACH, W., 1961 - Note on the effects of calcium concentration in culture solutions upon the leaf and whole plant absorption of iron and manganese by dwarf kidney bean. Canad. J. Bot., 39: 437-8

412 - TAPER, C. D., and LEACH, W., 1957 - Studies on plant mineral nutrition. III. the effects of calcium concentration in culture solutions upon the absorption of iron and manganese by dwarf kidney bean. A Canadian Bot., 35: 773-777

413 - TAYLOR, G. A., 1956 - The effectiveness of five cleaning procedures in the preparation of apple leaf samples for analysis Proc. Amer. Soc. hort. Sci. 67: 5-9

414 - THORNE, D. W., 1955 - Lime-induced chlorosis, new challenge to science. Crops and Soils 7(8): 15-28

415 - THORNE, D. W., 1944 - The use of acidifying materials on calcareous soils. Jour. Amer. Soc. Agron. 36: 815-828

416 - THORNE, D. W., and PETERSON, H. B., 1954 - Irrigated Soils. The Blakiston Co., Inc. New York.

417 - THORNE, D. W., and WIEBE, H. H., 1957 - Solubility and plant utilization of micronutrients. Atomic Energy and Agriculture, 49-69.

418 - THORNE, D. W., and WALLACE, A., 1944 - Some factors affecting chlorosis on high-lime soils. Ferrous and ferric iron. Soil Sci., 57 : 299-312.

419 - THORNE, D. W., and WANN, F. B., 1953 - Selecting chlorosis resistant shrubs. Farm and House Science, 14 (1): 16-17.

420 - THORNE, D. W., and WANN, F. B., 1950 - Nutrient deficiencies in Utah orchards. Utah State Agric. College, Bul. 338. Logan.

421 - THORNE, D. W., WANN, F. B., and ROBINSON, W., 1950 - Hypotheses concerning lime-induced chlorosis. Proc. Amer. Soc. Soil Sci. , 15 : 254-258.

422 - TIFFIN, L. O., and BROWN, J. C., 1962 - Iron chelates in soybean exudate. Science, 135 : 311-313.

423 - TIFFIN, L. O., and BROWN, J. C., 1961 - Iron chelates in plant exudate. Plant physiol. , 36 (suppl.) XIV.

424 - TIFFIN, L. O., BROWN, J. C., and HOLMES, R. S., 1960 - Chelating agent and plant nutrient interactions affecting the iron nutrition of soybeans. Proc. Amer. Soc. Soil Sci. 24 : 120-123.

425 - TIFFIN, L. O., BROWN, J. C., and KRAUSS, R. W., 1960 - Differential absorption of metal chelate components by plant roots. Plant physiol. , 35 : 362-7.

426 - TOCHER, C. A. S., 1965 - Some aspects of iron nutrition of wheat and peas. Diss. Abstr., 26 : 655-6.

427 - TOWNSEND, L. R., 1967 - Effect of ammonium nitrogen and nitrate nitrogen separated and in combination, on the growth of the highbush blueberry. Plant Sci., 47 : 555-62.

428 - TOWNSLEY, P. M., and NEILANDS, J. B., 1957 - The iron and porphyrin metabolism of Micrococcus lysodeikticus. Jour. Biol. Chem., 224 : 695-705.

429 - TREFFRY, T. E., and BOGORAD, L., 1964 - Observations on the activity of chlorophyllase in iron deficient swiss chard and in phytolation of chlorophyllide in vitro. Plant physiol., 39 (suppl.) : XXXII-XXXIII.

430 - TRECINSKY, T., and FERAUGE, M. T., 1963 - La chlorose des arbres fruitiers. Parasitica, 19 : 153-71.

431 - TULAJKOVA, K. P., and BOGDANOVA, N. S., 1963 - Azotobacterin and silicate bacteria can reduce chlorosis. Sadovodstvo, n° 11, pp. 42-3.

432 - TURNER, R. C., 1958 - A theoretical treatment of the pH of calcareous soils. Soil Sci., 86 : 32-34.

433 - TWYMAN, E. S., 1959 - The effect of iron supply on the yield and composition of leaves of tomato plants. Plant and Soil 10 : 375-388.

434 - VAN DRIEL, W., 1965 - " Biochemical aspects of control of iron deficiency in the plant ". Landbouwk Tijdschr, 77 : 823-34.

435 - VAN DUKE, J. F., 1964 - " The correction of iron chlorosis in a new way. " Fruitteelt, 54 : 168-9.

436 - VANEK, G., 1967 - " The influence of various roles of iron, boron, zinc, molybdenum and copper on the symptôm of virus necrosis of vine ". Ochr. Rostl., 3 (1) : 43-52.

437 - VAN NOORT, D., and WALLACE, A., 1965 - Iron and chlorophyll synthesis. California Agr., 19 : 4-5.

438 - VUKOVITS, G., 1968 - " Notes on symptoms occurence in stone some and berry fruits, oranamental and cucumbers, various causes of damage ". Flugbl. Bundesanit. PflSch., Wien, 105, p. 2.

439 - WADLEICH, C. H., and BROWN, J. W., 1952 - Chemical status of bean plants afflicted with bicarbonate-induced chlorosis. Bot. Gaz., 113:373-392.

440 - WALLACE, A., 1963 - Role of chelating agents on the availability of nutrients to plants. Proc. Amer. Soc. Soil Sci., 27 : 176-9.

441 - WALLACE, A., 1962 - A decade of synthetic chelating agents in inorganic plant nutrition. Arthur Wallace 2272 Parnell Avenue Los Angeles 64, California.

442 - WALLACE, A., 1960 - Possibilities for the use of metal chelates as micronutrient sources. Spec. Rep. Univ. Calif., Los Angeles, n° 2, 99-103.

443 - WALLACE, A., 1957 - Progress in preventing and correcting iron chlorosis in macadamia. Calif. Macadamia Soc. Yearbook, 3 : 24-25.

444 - WALLACE, A., 1956 - Chlorosis in macadamia. Calif. Macadamia Soc. Yearbook, 2 : 23-25.

445 - WALLACE, A., 1956 - Effectiveness of iron chelates in the presence of sodium bicarbonate. Symposium on the use of chelating agents in plant nutrition. pp. 35-40.

446 - WALLACE, A., Ed. 1956 - Symposium on the use of chelating agents in plant nutrition. National Press. Palo Alto, Calif.

447 - WALLACE, A., and BEDRI, A. A., 1958 - Iron and zinc foliage sprays. Calif. Agric., 12 (4) : 8.

448 - WALLACE, A., and LUNT, O. R., 1960 - Iron chlorosis in horticultural plants : a review. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 75 : 819-41.

449 - WALLACE, A., MULLER, R. T., VAN NOORT, D., and NORTH, C. P., 1960 - Dark CO_2 fixation of virus-diseased iron-chlorotic and genetic chlorotic leaves. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 76 : 679-81.

450 - WALLACE, A., NAUDE, C. J., MUELLER, R. T., and TIZAN, Z. I., 1952 - The root-stock-scion influence on the inorganic composition of citrus. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 59 : 133-142.

451 - WALLACE, A., NORTH, C. P., and FROLICH, E. F., 1953 - Interaction of root-stock, soil pH, and nitrogen on the growth and mineral composition of small lemon trees. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 62 : 75-78.

452 - WALLACE, A., and SHANNON, L. M., 1956 - Miscellaneous soil and plant chelate studies. Symposium on the Use of Metal Chelates in Plant Nutrition. National Press, Palo Alto, Calif.

453 - WALLACE, A., SHANNON, L. M., LUNT, O. R., and IMPEY, R. L., 1957 - Some aspects of the use of metal chelates as micronutrient fertilizer sources. Soil Sci., 84 : 27-41.

454 - WALLACE, A., VAN NOORT, D., VAN NOORT, G., MUELLER, R. T., and HUFFAKER, R. C., 1959 - Some physiological comparisons of leaves of iron deficiency, virus diseased, and genetical chloroses. Plant physiol., 34 (suppl.) : 7.

455 - WALLACE, T., 1956 - Soils and manures for fruit, Bull. n°117 London 1956.

456 - WALLACE, T., 1935 - Investigations on chlorosis of fruit trees. V. The control of lime-induced chlorosis by injection of iron salts. Jour. Pom. and hort. Sci., 13 : 54-67.

457 - WALLIHAN, E. F., 1961 - Effect of sodium bicarbonate on iron absorption by orange seedlings. Plant physiol., 36 : 52-3.

458 - WALLIHAN, E. F., 1959 - Short time effect of bicarbonate on iron absorption. Plant physiol., 34 XX (suppl.)

459 - WALLIHAN, E. F., 1955 - Relation of chlorosis to concentration of iron in citrus leaves. Amer. Jour. Bot., 42:101-104.

460 - WALLIHAN, E. F., EMBLETON, T. W., and SHARPLESS, R. G., 1964 - Response of chlorotic of citrus leaves to iron sprays in relation to surplants and stomatal apertures. Proc. Amer. Soc. hort. Sci., 85 : 260-17.

461 - WALLIHAN, E. F., and GARBER, M. J., 1968 - Effect of iron nutrition on root : lop radio. Agron. J., 60 : 41-42.

462 - WALLIHAN, E. F., and GARBER, M. J., 1968 - Iron uptake by two citrus rootstock species in relation to soil moisture and $CaCO_3$. Agron. J., 60 - 50-2.

463 - WALLIHAN, E. F., and GARBER, M. J., 1966 - How much iron is enough ? Calif. citrogr., 51 : 450-9.

464 - WALLIHAN, E. F., GARBER, M. J., SHARPLESS, R. G., and PRINTY, W. L., 1961 - Effects of soil oxygen deficin on iron nutrition of orange seedlings. Plant physiol., 36:425-8.

465 - WALLIHAN, E. F., GOODALL, G. E., and EMBLETON, T. W., 1968 - Iron chlorosis in relation to irrigation practices. Yearb. Calif. Assoc. Soc., 52 : 120-4.

466 - WALTER, B., 1968 - The soil properties of chlorotic vineyards. Weinberg u. Keller, 7 : 151-71.

467 - WANN, F. B., 1930 - Chlorosis yellowing of plants, cause and control. Utah. Agric. Exp. Sta. Circ. 85.

468 - WARRINGTON, K., 1955 - The influence of high concentration of ammonium and sodium molybdates on flax, soybean, and peas grown in nutrient solution containing deficient or excess iron. Ann. of App. Bot. 43 : 709-719.

469 - WARRINGTON, K., 1954 - The influence of iron supply on toxic effects of manganese, molybdenum and vanadium on soybean, peas and flax. Ann. of App. Bot. 41 (1) : 1-22.

470 - WARRINGTON, K., 1951 - Some interelationships between manganese molybdenum and panadium in the nutrition of soybeans, flax and oats. Ann. Applied Biol., 38 : 624-641.

471 - WATANABE, F. S., LINDSAY, W. L., and OLSEN, S. R., 1965- Nutrient balance involving phosphorus, iron, and zinc. Proc. Amer. Soc. Soil Sci., 29 : 562-5.

472 - WEBER, A., 1966 - " Experiments with nutritional problems". Tidsskr. Planteavl, 70 : 99-116.

473 - WEINSTEIN, L. J., and ROBBINS, W. R., 1955 - The effect of different iron and manganese nutrient levels on the catalase and cytochrome oxidase activities of green and albino sunflower leaf tissues. Plant physiol., 30 (1) : 27-32.

474 - WEISS, M. G., 1943 - Inheritance and physiology of efficiency in iron utilization in soybeans. Genetics, 28 : 253-268.

475 - WELKIE, G. W., and MILLER, G. W., 1960 - Iron nutrition of Nicotiana tabacum L. in relation to riboflavin, riboflavin--5-phosphate, and flavin adenine dinucleotide content. Plant physiol., 35 : 516-20.

476 - WEST, S. H., and HARRIS, H. C., 1965 - 1966 - Physiological and biochemical fonctions of microelements. Proc. Fla. Soil Sci. Soc., 25 : 83-95.

477 - WESTGATE, P. J., and FORBES, R. B., 1957-58 - Soil management problems in vegetable crop fields. A. R. Fla. agric. Exp. Stats., p. 188.

478 - WILCOX, F. A., 1960 - Cure for iron chlorosis. Amer. Fruit Gr., 80 (2) : 48.

479 - WUTSCHER, H. K., 1968 - Effects of nitrogen and potassium on the iron matabolism of greenhouse-grown apple trees. Diss. Abstr., Sect. B, 28 : 3554-5.

480 - WUTSCHER, H. K., and CAIN, J. C., 1966 - Effect of K. on the iron nutrition of apple trees. Proc. 17. int. hort. Congr. Md, 1966, 1, Abs. 153.

481 - WYND, F. L., 1951 - Availability to wheat plants of iron in very and soluble glass frit. Lloydia. 14 : 1-57.

482 - XUEREFF, R., 1959 - La toxicité du cuivre dans les vergers de pêchers de la vallée de l'Eurieux. Prog. Agr. Ardèche 49 : 1-6.

483 - YAALON, D. H., 1957 - Problems of soil testing on calcareous soils. Plant and soil, 8, pp. 275-288.

484 - YULIN, S. L., MILLER, G. W., 1961 - Chlorosis in higher plants as related ro organic acid content. Plant physiol., 36 : 415-420.

485 - ZAJCEVA, N. A., and OSTROVSKAJA, L. K., 1968 - " Photosynthetic phophorylation in chloroplasts of normal and chlorotic plants ". Fiziol. Rast., 15 : 464-8.

486 - ZARIN, U. E., and BOJCENKO, E. A., 1967 - " Iron-containing conenzyme A in the photosynthetic cashon dioxide acceptor ". Fiziol. Rast., 14 : 843-8.

487 - ZELEPUHIN, I. D., 1966 - " The effect of chlorosis on the physiological state of apple trees under the conditions of central Kazahstan ". Fiziol. Rast., 13 : 790-7.

TABLE DES MATIERES

Pages

INTRODUCTION 3

HISTORIQUE 7

A - Premiers travaux 7

B - Importance de l'absence ou de l'insuffisance du fer dans les sols pour la nutrition de la plante 8

C - Le mécanisme de l'absorption du fer dans les plantes 8

D - Utilisation du fer 11

E - Les facteurs chimiques et nutritifs provoquant la chlorose ferrique 12

F - Autres facteurs intervenant dans la chlorose ferrique 17

G - Conclusion 19

METHODES D'ETUDE 21

1 / Bacs de culture utilisés 21

2 / Choix du bac de culture 22

3 / Milieu de culture 24

4 / Lavage du quartz 24

5 / Apport de solution nutritive 25

a - technique 25
b - durée de l'arrosage 25
c - renouvellement des solutions 25
d - composition des solutions nutritives 26
e - apport de fer 29

6 / Sols naturels utilisés 30

7 / Matériel végétal 30

8 / Variation du pH de la solution nutritive 31

9 / Pureté des produits chimiques utilisés 31

10 / Mesure de l'intensité de la chlorose 32

Pages

PREMIERE PARTIE - CONDITIONS DE LA CHLOROSE 37

CHAPITRE I - Description et caractéristiques de la chlorose ferrique chez un semis homozygote de pêcher (G F 305) 39

A - Localisation de la disparition de la chlorophylle en fonction du développement de la chlorose 39

B - Evolution de la disparition de la chlorophylle (établissement d'une échelle en relation avec la teneur en chlorophylle) 40

C - Evolution des proportions de chlorophylle A et de chlorophylle B au cours du développement de la chlorose 41

D - Effet de la chlorose sur la physiologie générale de l'arbre 43

1 / Effet sur la croissance de la partie aérienne 43

2 / Effet sur la dimension et la forme des feuilles 43

3 / Effet sur les racines 47

4 / Effet sur la dominance du bourgeon terminal par rapport des bourgeons latéraux 47

CHAPITRE II - Incidence des différentes doses de fer sur le développement de la chlorose chez les semis de pêcher (G F 305) 55

A - Recherche de la dose limite permettant l'apparition de la chlorose modérée 55

B - Etude de l'apparition et de la disparition de la chlorose en fonction des variations de la teneur en fer des solutions 56

1 / Apparition 57

2 / Disparition 57

C - Effet cumulatif de doses faibles de fer induisant une chlorose très retardée 58

D - Effet sur des plantes normalement alimentées d'une diminution brutale du fer dans la solution nutritive 61

CHAPITRE III - Incidence d'autres facteurs du milieu sur la carence en fer 63

A - Rôle du pH et son interaction avec la carence en fer 63

Pages

B - Incidence de la teneur en autres éléments nutritifs sur la carence en fer 69

1 / Action des oligo-éléments autres que le fer et de leurs doses 69

a - Molybdène 72
b - Manganèse 72
c - Zinc 72
d - Cuivre 73

2 / Action des éléments majeurs nutritifs et de leur dosage 73

a - Potassium 73
b - Sodium 73
c - Phosphore 74
d - Chlorure 74
e - Sulfate 74
f - Azote 74
g - Bicarbonate 75
h - Calcium 75

C - Explication possible du rôle du calcaire dans l'induction de la chlorose ferrique dans les conditions du verger 77

D - Rôle de différentes viroses 78

E - Développement de la chlorose en sol calcaire 81

CHAPITRE IV - Différence de comportement à la chlorose provoquée par une carence en fer chez différentes lignées de pêchers et clônes d'hybrides pêcher x amandier 83

A - Comportement de différentes lignées et clônes comparativement à la lignée témoin G F 305 en culture hydroponique.. 84

1 / Lignées de pêchers 84

2 / Clônes d'hybrides pêcher x amandier 88

3 / Variabilité des résultats 88

4 / Autres espèces porte-greffes du pêcher 91

B - Comportement en sols chlorosants des lignées et clônes étudiés 95

a - sélection non greffée 95
b - cas des plantes greffées par une même variété de pêcher 96

C - Méthode possible d'évaluation de la résistance à la chlorose de différentes lignées et clônes de porte-greffes de pêchers 97

Conclusions de la première partie 101

Pages

DEUXIEME PARTIE - ABSORPTION ET CIRCULATION DU FER CHEZ DIFFERENTS PORTE - GREFFES DU PECHER , RELATIONS GREFFON-PORTE-GREFFES 103

CHAPITRE I - Essais avec des jeunes plants non greffés 105

Matériel et Méthode 105

1 / Matériel végétal 105

2 / Technique de culture des plantes 105

3 / Technique d'aération 106

4 / Méthode de traitement avec le fer 106

a - les semis 106
b - les boutures pêcher x amandier 106

5 / Mesure de la radioactivité 106

a - compteur à scintillation solide 106
b - autoradiographies 109

Absorption du fer par les racines de pêcher 109

A / Rapidité d'absorption du fer par les racines de plantes .. 109

B / Rôle de l'état d'activité des racines dans l'absorption du fer 111

C / Facteurs spécifiques et variétés dans l'absorption du fer 113

D / Distribution du fer dans les tissus des racines 119

E / Effet de la présence du feuillage sur l'absorption du fer par les racines 119

Transport du fer des racines jusqu'aux feuilles chez les porte-greffes du pêcher 120

A - Transport du fer en fonction du courant de transpiration 120

1 / Cas de pêchers sans système radiculaire 120

2 / Cas des pêchers avec système radiculaire mutilé 120

B - Transport du fer en fonction de l'activité métabolique des plantes 121

C - Distribution du fer dans la partie aérienne 121

1 / Les tendances générales 121

2 / Importance relative des feuilles et de la tige 125

3 / Blocage du fer dans la tige 125

Pages

4 / Distribution du fer dans les divers tissus de la tige 125

a - distribution verticale 125
b - distribution horizontale 126

5 / Distribution du fer dans les diverses parties d'une feuille 126

D - Facteurs spécifiques et génétiques influant sur le transport du fer 127

1 / Facteur génétique dans la même espèce 127

2 / Facteur spécifique 127

Absorption du fer à partir de la superficie des feuilles et sa migration chez les pêchers 127

A - Absorption du fer dans les feuilles immergées 128

B - Migration vers les tissus non traités 128

1 / Migration vers les autres feuilles 128

2 / Migration le long de la tige 128

C - Précipitation du fer dans les feuilles et dans la tige 128

CHAPITRE II - Essais de nutrition ferrique de plantes greffées 131

Utilisation du fer en fonction des relations greffon-porte-greffe 131

A - Rappel du problème 131

1 / Cas général des arbres fruitiers 131

2 / Cas du groupe Prunus 132

B - Matériel et Méthodes 132

C - Résultats 133

D - Discussion 149

Conclusions sur la deuxième partie 151

CONCLUSIONS GENERALES 153

RESUME EN ANGLAIS (SUMMARY) 163

BIBLIOGRAPHIE 167

TABLE DES FIGURES

Figures n° : Pages

1 - Bacs de 1000, 500 et 250 litres utilisés pour la culture du pêcher sur un milieu artificiel (quartz) avec leurs réservoirs de solution nutritive sousjacent 23

2 - La croissance des plants de semis de pêchers appartenant à différentes lignées bien définies est aussi homogène que celle des boutures d'un même clône 33

3 - Echelle d'intensité de chlorose utilisée dans nos essais (indices de 1 à 7) 35

4 - Evolution de la hauteur de pêchers GF 305 alimentés par des solutions nutritives ayant 5 doses de fer 44

5 - Modification du type de croissance d'un pêcher GF 305 carencé en fer ; la croissance de la tige principale s'arrête et les rameaux secondaires se développent d'une façon anarchique 45

6 - Evolution des longueurs des nouvelles feuilles (complètement développées) de pêchers GF 305 (moyenne de 60 feuilles; 12 répétitions) alimentés par des solutions nutritives ayant 5 doses de séquestrène de fer 48

7 - Evolution de la longueur des nouvelles feuilles (complètement développées) de pêchers GF 305 (moyenne de 60 feuilles ; 12 répétitions) alimentés par des solutions nutritives ayant 5 doses de séquestrène de fer 49

8 - Croissance différente (ramification) de 3 pêchers GF 305 très bien alimentés en fer après avoir été préalablement non carencé, carencé et très carencé 53

9 - Evolution de l'intensité de la chlorose chez les jeunes pêchers GF 305 alimentés par des solutions nutritives carencées en fer 60

10 - Schéma proposé pour montrer la relation entre la concentration de fer disponible et la durée nécessaire aux plants pour extérioriser les symptômes de la chlorose sur les jeunes semis de pêcher 60

11 - Effet de différents pH et teneurs en fer des solutions nutritives sur l'intensité et le moment d'apparition de la chlorose chez de jeunes pêchers GF 305 pendant les 20 premières semaines après le début des traitements; et effet résidual de ces traitements pendant les 20 semaines qui suivent l'arrêt de ces traitements..... 64

11 bis - Indices moyens de chlorose de jeunes pêchers GF 305(établis feuille par feuille) alimentés avec une solution nutritive unique (2,5 p.p.m. de séquestrène de fer et pH 5). Les quatre lignes indiquées correspondent à différents types de nutrition appliqués à ces arbres dans une expérience antérieure et terminée par un recépage général des plants 66

Figures n° : Pages

12 - Incidence d'une nutrition très riche en divers éléments sur la chlorose ferrique de jeunes pêchers GF 305 70

13 - Evolution de la chlorose chez les pêchers GF 305 à la suite de leur traitement avec les solutions nutritives contenant diverses concentrations d'ion bicarbonate..... 76

14 - Sensibilité différente à la chlorose ferrique de plusieurs lignées de pêcher ..... 84'

15 - Evolution de la hauteur de pêchers G_1S 300 alimentés par des solutions nutritives ayant 5 doses de fer..... 92

16 - Evolution de la hauteur de pêchers G_1S 2811 (Nemaguard) alimentés par des solutions nutritives ayant 5 doses de séquestrène de fer ..... 92'

17 - Evolution de la longueur des nouvelles feuilles (complètement développées) de deux lignées de pêchers, 1'un susceptible (Nemaquard), et l'autre résistant à la chlorose (GF 305), alimentés par une solution nutritive ayant 3 doses de fer 93

18 - Evolution de la largeur des nouvelles feuilles (complètement développées) de deux lignées de pêchers, un sensible (Nema - guard) et l'autre résistant (GF 305) alimentés par une solution nutritive ayant 3 doses de séquestrène de fer 94

19 - Vue générale de l'installation pour la culture aquatique des porte-greffes de pêchers 107

20 - Photo autoradiographique ; localisation du fer marqué principalement dans l'écorce des racines. 117

21 - Photographie autoradiographique d'un jeune pêcher montrant la montée du fer marqué métabolisé (une semaine de traitement avec une solution nutritive radioactive. Durée de réalisation de la radiographie 2 mois) 123

22 - Photo autoradiographique ; déplacement du fer, par les veines de la conduction, apporté par la voie foliaire. Les feuilles 1, 2 et 3 furent immergées pendant 2 jours en faisant incliner la plante en forme U. Le fer monta vers la feuille 4 contre la gravité. 129

23 - Evolution de l'intensité de la chlorose chez les amandiers R 486 et pêchers x amandiers GF 557 greffés sur pêcher GF 305, comparés avec le pêcher GF 305 sur ses propres racines, et alimentés avec une solution nutritive carencée en fer (culture sur gravier)..... 141

24 - Nourris avec une solution nutritive carencée en fer, les pêchers x amandiers et amandiers greffés sur pêchers GF 305 chlorosent plus que les pêchers GF 305 sur leurs propres racines. Les pêchers x amandiers greffés sur pêchers chlorosent plus que les pêchers x amandiers sur leurs propres racines 143

Figures n° :

Pages

24 (suite) - Dans un milieu calcaire où il n'y a pas la "carence absolue" de fer mais où il y a une carence physiologique, les pêchers greffés sur pêchers, chlorosent plus que les amandiers et les pêchers x amandiers greffés sur pêchers 147

EDITIONS BERGERET
2, rue Bergeret
33 - BORDEAUX
Tél. 91.12.59

Vu et approuvé,
Bordeaux, le mars 1971

p/ le Président,
le Premier Vice-Président :

M. RIMPAULT